



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

**DESAIN PARAMETER EKSPERIMEN UNTUK
OPTIMASI NILAI *FRANGIBILITY FACTOR*
MATERIAL KOMPOSIT DENGAN METODE
TAGUCHI DAN *NEURAL NETWORK***

MIA KRISTINA DAMAYANTI
NRP. 2713100007

Dosen Pembimbing
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - TL 141584

**DESAIN PARAMETER EKSPERIMEN UNTUK
OPTIMASI NILAI *FRANGIBILITY FACTOR*
MATERIAL KOMPOSIT DENGAN METODE
TAGUCHI DAN *NEURAL NETWORK***

MIA KRISTINA DAMAYANTI
NRP. 2713100007

Dosen Pembimbing
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

**DESIGN OF EKSPERIMENT PARAMETER FOR
OPTIMIZATION FRAGIBILITY FACTOR'S
VALUE OF COMPOSITE MATERIAL USING
TAGUCHI AND NEURAL NETWORK METHOD**

**MIA KRISTINA DAMAYANTI
NRP. 2713100007**

**Supervisor
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D**

**DEPARTMEN OF MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**DESAIN PARAMETER EKSPERIMEN UNTUK
OPTIMASI NILAI *FRANGIBILITY FACTOR* MATERIAL
KOMPOSIT DENGAN METODE TAGUCHI DAN
*NEURAL NETWORK***

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**MIA KRISTINA DAMAYANTI
NRP. 2713 100 007**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. (Pembimbing I)

Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DESAIN PARAMETER EKSPERIMEN UNTUK OPTIMASI NILAI *FRANGIBILITY FACTOR* MATERIAL KOMPOSIT DENGAN METODE TAGUCHI DAN *NEURAL NETWORK*

Nama : Mia Kristina Damayanti
NRP : 2713100007
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D

Abstrak

Material komposit adalah jenis material yang banyak diaplikasikan untuk senjata api dalam latihan penembakan karena memiliki kemampuan mudah pecah (*fragibility factor*) yang tinggi. Nilai *fragibility factor* (FF) bergantung dengan *setting* level parameter proses selama fabrikasi dengan metalurgi serbuk. Parameter proses dalam penelitian ini antara lain komposisi %wt Sn, tekanan kompaksi dan temperatur *sintering*. Penelitian ini menggunakan data sekunder nilai FF dari penelitian tim riset LPDP laboratorium Fisika Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS. Metode optimasi nilai FF untuk desain parameter ini menggunakan *Orthogonal Array* dari Taguchi dan prediksi *Neural Network*. Dari kedua metode ini diperoleh hasil optimasi *setting* level parameter yang sama yaitu pada kombinasi 20%wt Sn, tekanan kompaksi 450 MPa dan temperatur *sintering* 500 °C dengan prediksi nilai FF 19,70. Dari analisa ANOVA untuk *mean* pada Taguchi menunjukkan bahwa faktor tekanan kompaksi yang paling berpengaruh sebesar 45,49%, komposisi Sn 27,65% dan temperatur *sintering* 21,65%. Hasil *setting* level optimasi melalui desain ini selanjutnya dikonfirmasi dengan melakukan eksperimen dan menghasilkan nilai FF rata-rata 19,29. Dari hasil pengujian *confidence interval* nilai eksperimen ini diterima karena *interval* saling bersinggungan, yang artinya hasil desain optimasi memenuhi hasil eksperimen.

Kata kunci :Material Komposit, Metalurgi Serbuk, Taguchi, Neural Network

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DESIGN OF EKSPERIMENT PARAMETER FOR OPTIMIZATION FRAGIBILITY FACTOR'S VALUE OF COMPOSITE MATERIAL USING TAGUCHI AND NEURAL NETWORK METHOD

Nama of Student : Mia Kristina Damayanti
Student ID : 2713100007
Department : Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS
Supervisor Lecture : Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D

Abstrak

Composite material is a widely applied materials for shooting drilling because of high frangibility factor. Frangibility factor (FF) value depends on the setting of process parameter level in fabrication through powder metallurgy. The process parameters used in this research are %wt Sn composition, compaction pressure and sintering temperature. This research uses FF value as secondary data from the researches conducted by the previous composite material team, laboratory of physics materials, department of materials and metallurgical engineering. The method of optimization for FF value ,as parameters design, uses orthogonal array from Taguchi and Neural Network prediction. From both methods, it is obtained optimization result of parameter level setting with the same value on the combination 20%wt Sn, compaction pressure 450 MPa and sintering temperature 500 °C with FF value prediction 19.70. From ANOVA analysis for mean in Taguchi shows that the compaction pressure has the most significant factor at 45.49%, Sn composition at 27.65% and sintering temperature at 21.65%. Optimization level setting result through this design is confirmed by conducting experiment and obtained FF value average at 19.29. From the result of interval confidence testing, this experiment result is acceptable because of the interval intersection, which means that the result of optimization design is

suitable with experimental result. The result show that Taguchi and neural network method are able to predict the FF value.

Keywords : composite material, powder metallurgy, Taguchi, Neural Network

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT, karena berkat limpahan Rahmat dan HidayatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Desain Parameter Eksperimen untuk Optimasi Nilai *Frangibility Factor* Peluru Frangible dengan Metode Taguchi dan *Neural Network* ”**”.

Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Penghargaan dan ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

- Allah Subhanahu Wata’ala, atas agama Rahmat-Nya sehingga saya dapat mendapat hidayah untuk tetap tegak menjadi hamba-Nya dan semoga saya selalu dipilih agar mudah mengamalkan agama-Nya yang sempurna.
- Ayah, Ibu, dan keluarga atas doa, dukungan, dan pengertian yang telah diberikan selama ini.
- Ibu Widyastuti S.Si, M.Si dan Bapak Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberi bimbingan dan motivasi pada saya.
- Bapak Denny Lesmana, Bapak Didik serta tim penguji Balistik di PT. Pindad Turen Malang
- Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
- Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
- Mas Ridha Widhianto selaku staf Laboratorium Fisika Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
- Teman-Teman Laboratorium Fisika Material dan teman-teman angkatan 2013 Jurusan Teknik Material dan Metalurg yang telah memberikan dukungan moril kepada penulis dalam mengerjakan tugas akhir.

Penulis menyadari dengan keterbatasan ilmu, tentu laporan ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu saya selaku penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang bersifat membangun dari para pembaca laporan ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberi manfaat bagi kita semua. Aamiin

Surabaya, 11 Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peluru Frangible	5
2.2 Design of Experiment (DoE).....	21
2.3 Metode Taguchi.....	25
2.4 <i>Neural Network</i>	33
2.5 Penelitian Sebelumnya	41

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian	45
3.2 Parameter Penelitian	47
3.3 Jenis dan Sumber Data	49
3.4 Desain Eksperimen dengan Taguchi	50
3.5 Proses pembelajaran dan Optimasi pada Neural Network	55

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data Sekunder.....	71
4.2 Analisis Karakteristik Kualitas dan Analisis Variansi.....	77
4.3 Pendekatan pola dengan <i>Artificial Neural Network</i> ...	90
4.4 Plot Permukaan Respon.....	100
4.5 Eksperimen Konfirmasi.....	105
4.6 Perhitungan <i>Confidence Interval</i>	112
4.7 Pembahasan.....	121

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	125
5.2 Saran.....	125

DAFTAR PUSTAKA	127
-----------------------------	------------

LAMPIRAN.....	xxi
----------------------	------------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 a). Bagian-bagian peluru (b). Bentuk-bentuk proyektil.....	5
Gambar 2.2 Skema perilaku serbuk pada proses kompaksi.....	10
Gambar 2.3 Ilustrasi skema mekanisme sintering serbuk metal	11
Gambar 2.4 Mekanisme <i>liquid phase sintering</i> pada material Cu-Sn	13
Gambar 2.5 Diagram fasa Cu-Sn	15
Gambar 2.6 Struktur kristal (a) fasa ϵ (Cu_3Sn) : orthohombik dan (b) fasa η (Cu_6Sn_5) : monoclinic pada temperatur rendah (fasa η') atau hexagonal pada temperatur tinggi (fasa η)	16
Gambar 2.7 Hubungan antara jumlah pecahan peluru (N) dengan energi kinetik (E_k) setelah menumbuk target keras	21
Gambar 2.8 Notasi <i>Orthogonal Array</i>	26
Gambar 2.9 Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas	30
Gambar 2.10 <i>McCulloch & Pitts neuron model</i>	34
Gambar 2.11 Model tiruan sebuah neuron.....	35
Gambar 2.12 Jaringan lapisan laenih dari <i>multi layer</i>	40
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	46
Gambar 3.2 Proses <i>Training Neural Network</i>	48
Gambar 3.3 Diagram Alir proses eksperimen.....	58
Gambar 4.1 Milestone Penelitian.....	70
Gambar 4.2 Plot mean Taguchi dari nilai FF.....	81
Gambar 4.3 Plot SNR Taguchi dari nilai FF.....	85
Gambar 4.4 Seting arsitektur jaringan pada ANN	93
Gambar 4.5 Arsitektur jaringan yang digunakan	94
Gambar 4.6 Plot ACF model FFNN algoritma Backpropagation dengan 5 neuron pada lapis tersembunyi dan x_1, x_2, x sebagai input.....	96
Gambar 4.6 Plot PACF model FFNN algoritma Backpropagation dengan 5 neuron pada lapis tersembunyi dan x_1, x_2, x sebagai input.....	97

Gambar 4.8	Surface Plot Parameter Tekanan Kompaksi dan Temperatur sintering terhadap respon nilai FF	100
Gambar 4.9	Countour Plot Parameter Tekanan Kompaksi dan Temperatur sintering terhadap respon nilai FF	111
Gambar 4.10	Surface Plot Parameter Komposisi % wtSn dan Temperatur sintering terhadap respon nilai FF	102
Gambar 4.11	Countour Plot Parameter komposisi % wtSn dan Temperatur sintering terhadap respon nilai FF	103
Gambar 4.12	Surface Plot Parameter Komposisi % wtSn dan tekanan kompaksi terhadap respon nilai FF	105
Gambar 4.13	Countour Plot Parameter Komposisi % wtSn dan Tekanan Kompaksi terhadap respon nilai FF	105
Gambar 4.14	Sampel uji kompresi a). Sebelum uji b). setelah uji (<i>barreling</i>)	109
Gambar 4.15	a) Sampel Proyektil siap uji; b) balistik Sampel proyektil hasil kompaksi	110

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik peluru <i>frangible</i>	7
Tabel 2.2 <i>Properties</i> senyawa intermetalik pada Cu-Sn.....	15
Tabel 2.3 Struktur kristal dan lattice parameter senyawa Cu-Sn	17
Tabel 2.4 Perbandingan teknik dalam melakukan desain eksperimen	22
Tabel 2.5 <i>Array Selektor</i>	27
Tabel 2.6 Respon faktor.....	32
Tabel 2.7 Nilai Koefisien Korelasi	38
Tabel 2.8 Kajian penelitian sebelumnya peluru <i>frangible</i>	40
Tabel 2.9 Kajian penelitian sebelumnya mengenai Optimasi DoE	42
Tabel 3.1 Kode Parameter Proses	50
Tabel 3.2 Jumlah Derajat Kebebasan (DoF).....	51
Tabel 3.3 Desain eksperimen <i>orthogonal array</i>	52
Tabel 3.4 Mean nilai parameter respon FF	55
Tabel 3.5 Dimensi Sampel pengujian.....	61
Tabel 3.6 Komposisi serbuk untuk satu sampel	61
Tabel 3.7 Perbandingan besar tekanan kompaksi yang diberikan pada sampel proyektil dan pellet.....	62
Tabel 4.1 Variabel-variabel yang berpengaruh terhadap nilai FF	72
Tabel 4.2 Variabel-variabel yang berpengaruh terhadap nilai FF	73
Tabel 4.3 Kombinasi Parameter proses dan level	74
Tabel 4.4 Perhitungan nilai <i>Degree of Freedom</i> (DoF).....	75
Tabel 4.5 Desain eksperimen L_9 (3^3) <i>orthogonal array</i>	76
Tabel 4.6 Nilai FF hasil eksperimen tim riset peluru <i>Frangible</i>	77
Tabel 4.7 Data perhitungan Rata-rata dan SNR metode Taguchi	79
Tabel 4.8 <i>Respon Tabel Means</i> nilai FF (<i>Higher the better</i>)	81
Tabel 4.9 Hasil perhitungan ANOVA untuk rata-rata.....	83
Tabel 4.10 <i>Respon Tabel SN Ratio</i> nilai FF (<i>Higher the better</i>)	85

Tabel 4.11 Hasil perhitungan ANOVA untuk rata-rata	85
Tabel 4.12 Respon Tabel Means nilai FF (<i>Higher the better</i>) ...	89
Tabel 4.13 Data nilai FF hasil normalisasi	92
Tabel 4.14 Perbandingan data hasil pembelajaran ANN	95
Tabel 4.15 Data input yang digunakan untuk memprediksi target	98
Tabel 4.16 Data input yang digunakan untuk memprediksi target	99
Tabel 4.17 Hasil pengujian <i>Green Density</i> dan <i>Sinter density</i> pellet.....	107
Tabel 4.18 Hasil pengujian <i>Green Density</i> dan <i>Sinter density</i> proyektil	107
Tabel 4.19 Data Hasil Uji Kompresi.....	109
Tabel 4.20 Data Hasil Uji Kecepatan	111
Tabel 4.21 Data Hasil perhitungan nilai FF.....	112
Tabel 4.22 Hasil perhitungan <i>Confidence interval</i>	118
Tabel 4.23 Perbandingan nilai <i>Confidence interval</i>	119



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Material komposit adalah jenis material yang banyak diaplikasikan untuk senjata api latihan dan memiliki kemampuan mudah pecah (*frangible*) (Benini, 2001). Material *frangible* adalah jenis material yang mampu pecah menjadi partikel kecil, minim bahaya, dan mudah pecah ketika menyentuh benda yang lebih keras darinya (Joys, 2012). Kemampuan material untuk pecah bisa dihitung dari nilai *Frangible Factor* (FF) pada pengujian balistik. Material *frangible* memberikan nilai FF 9,34 pada temperatur sinter 200°C dengan waktu tahan sinter selama 30 menit dan tekanan kompaksi 600Mpa Firmansyah (2015). Nilai ini sudah memenuhi syarat material *Frangible*, namun masih belum mencapai optimum bila dibandingkan dengan nilai FF yang dimiliki material SR, dengan nilai FF mencapai 126.3. Nilai FF bisa optimasi dari sifat mekaniknya, seperti nilai modulus elastisitas kompresi (K) dan nilai kekuatan tekan (σ_{db}).

Sifat mekanik produk material *frangible* tergantung dari jenis bahan yang digunakan dan proses pembuatannya melalui metalurgi serbuk. Dalam metalurgi serbuk terdapat empat parameter proses yang berpengaruh signifikan terhadap sifat produk diantaranya komposisi material, tekanan kompaksi, temperatur sinter dan waktu tahan *sinter* (German, 1984). Pada komposisi 5-15% Wt Sn dan temperatur *sinter* 800-900 °C memberikan nilai kekuatan tekan 49-214 Mpa (Kruachatturat (2009). Pada temperatur proses 260-300 terbentuk fasa Cu₃Sn dan Cu₆Sn₅ yang berperan sebagai intermetalik yang brittle antar partikel Cu yang tidak berikatan (Liu, et al 2012).

Oleh begitu kompleksnya parameter proses dalam pembuatan material *Frangible* maka, perlu adanya desain eksperimen yang sesuai untuk mengidentifikasi parameter proses dalam pembuatan material untuk memberikan nilai FF paling optimum. Metode desain eksperimen merupakan dasar yang



utama dalam aktifitas *engineering*. Dimana tahapan setelah melakukan desain eksperimen adalah mencari nilai optimumnya untuk mengetahui daerah parameter proses utama yang memberikan hasil respon yang terbaik (Mongomery, 2012). Atas dasar tujuan inilah aplikasi metode Taguchi dan *Neural Network* diterapkan. Pada proses optimasi parameter proses material frangible dengan metode Taguchi mampu mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah test yang minimum karena tata letak data eksperimennya menggunakan *orthogonal array*. Pemilihan *Neural Network* (Jaringan Saraf Tiruan) sebagai pembanding karena metode ini diilhami oleh struktur jaringan biologi khususnya otak manusia yang digunakan sebagai alat penghitung, sehingga output yang dihasilkan mendekati sebenarnya (Setiawan, 2004).

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut;

1. Bagaimana menentukan *setting* level optimal pada faktor-faktor yang berpengaruh terhadap nilai *Frangibility Factor* material kompsit dengan menggunakan metode Taguchi.
2. Bagaimana menentukan *setting* level optimal pada faktor-faktor yang berpengaruh terhadap nilai *Frangibility Factor* material komposit dengan menggunakan metode *Neural Network*.

1.3 Batasan Masalah

Agar didapatkan hasil akhir yang yang baik dan sesuai dengan tujuan penelitian serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Lingkungan *furnace* vakum
 2. Distribusi campuran serbuk dianggap homogen
-



3. Pengotor diabaikan
4. Tekana kompaksi yang digunakan tetap
5. Dimensi proyektil homogen.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menentukan *setting* level parameter terbaik dari faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kualitas *higher the better* nilai *frangibility factor* dengan metode Taguchi.
2. Menentukan *setting* level parameter terbaik dari faktor-faktor yang berpengaruh melalui prediksi nilai *frangibility factor* dengan metode *Neural Network*.

1.5 Mafaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Menambah *database* tentang *setting* parameter proses yang memberikan respon paling optimum dari nilai *frangibility factor* dengan menggunakan metode fabrikasi Metalurgi Serbuk.
2. Dapat digunakan sebagai referensi baik untuk fabrikasi material frangible maupun proses fabrikasi produk yang lainnya tentang bagaimana merancang dan menganalisa penelitian menggunakan DoE, khususnya dengan menggunakan metode Taguchi dan *Neural Network*.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Frangible

Peluru terdiri dari beberapa bagian dalam penggunaannya yaitu proyektil (*bullet*), kelongsong (*bullet base*), mesiu (*propellant*), dan pematik (*rim*). Proyektil merupakan bagian dari material yang meluncur di udara dan bergerak tidak dengan dorongannya sendiri. Material penyusun proyektil ada tiga diantaranya kuningan untuk kulit proyektil, inti yang terbuat dari baja, dan menggunakan pengisi dengan material Timbal (Flores Johnson, 2011). Material untuk proyektil terdiri dari paduan material yang berbeda densitasnya, selain itu perbedaan material mengakibatkan perbedaan kemampuan berdeformasi (Von, 2009).

Material *frangible* banyak digunakan pada aplikasi kegiatan latihan menembak. Baik pada lingkungan terbuka maupun tertutup yang memiliki keuntungan dengan karakteristik *frangibility* (pecah) dibandingkan material berbasis timbal (Benini, 2001). Material *frangible* terbentuk dari serbuk logam seperti tembaga, timah, tungsten, besi, bismuth dan baja, beberapa jenis material juga ditambahkan polimer sebagai pengikat. Material tersebut dikompres ke dalam bentuk yang diinginkan. Untuk meningkatkan kinerjanya maka material komposit ini juga dilakukan proses sintering (Mikko, 2008).



Gambar 2.1 (a). Bagian-bagian material (b). Bentuk-bentuk proyektil (Kelter, 2011)



Penggunaan material *frangible* terbatas pada jarak yang dekat dan banyak diaplikasikan pada kegiatan latihan menembak. Hal ini merupakan terobosan baru pada teknologi amunisi, material konvensional berbahaya jika digunakan pada jarak tertentu. Efek berbahaya ini dapat muncul ketika material konvensional mengenai target tembak yang keras (baja) sehingga dapat menimbulkan pecahan dari material. Sedangkan pada material *frangible* partikel yang telah pecah terlalu ringan dan tidak memiliki energi yang cukup untuk menimbulkan bahaya (Benini, 2001).

2.1.1 Proyektile Material *frangible*

Dari sudut pandang balistik, *frangibility* adalah sifat yang paling penting dalam *feature* material *frangible*. *Frangibility* atau sifat mudah pecah dari material adalah kemampuan untuk terpisah menjadi pecahan-pecahan kecil ketika mengenai target keras. *Frangibility* dipengaruhi oleh ketiga faktor sebagai berikut:

- Karakteristik material
- Karakteristik target
- Kondisi impak

Mengacu pada karakteristik dari material, *frangibility* dari material dipengaruhi oleh sifat mekanik dari material, dimensi material dan bentuk dari material. *Frangibility* akan meningkat seiring dengan menurunnya kekuatan dari material material dan menurunnya ketangguhan dari material tersebut (Rydlo, 2010).

Secara umum densitas dari material *frangible* harus memiliki densitas dengan kisaran 1,75 g/cc–8,25 g/cm³ (Hansen, 2008). Sedangkan untuk material *frangible* yang sesuai dengan karakteristik uji tembak memiliki densitas dengan kisaran 7,1–8,5 g/cm³ (Joys, 2012). Pada penelitian yang dilakukan oleh menyebutkan bahwa kekuatan tekan yang harus dimiliki oleh material *frangible* berada pada kisaran 31 – 310 MPa (Kruachatturat dkk, 2009). Dengan nilai kekerasan permukaan pada kisaran 54 – 119 HV. Pada Tabel 2.1 ditampilkan data karakteristik material *frangible* produk dari *Sinterfire* dan SR.



Tabel 2.1 Karakteristik material *frangible* (Rydlo, 2010)

Material <i>Frangible</i>	Sinterfire	SR
Kaliber d (m)	0,009	0,009
Panjang material l_s (m)	0,0161	0.01435
Massa material m_s (kg)	0,00648	0,0055
Densitas material ρ_s (kg.m^{-3})	7443	6763
Modulus elastisitas saat penekanan	10597	3999
K_s (MPa)		
Tekanan relatif maksimal material	0,01172	0,01255
$\epsilon_{sx, \text{ lim}} (1)$		
Batas velositas material $v_{s, \text{ lim}} (\text{m.s}^{-1})$	69,4	32,9
Batas energi kinetik material	15,6	2,9
$E_{ks, \text{ lim}} (J)$		
Energi kinetik material jarak 2 m dari laras $E_{k2} (J)$	470,3	366,4
Faktor <i>frangibility</i> material FF (1)	30,1	126,3

2.1.2 Komposit Cu-Sn material *Frangible*

Material konvensional dengan bahan dasar timbal (Pb) harus memiliki gaya berat yang spesifik sehingga material yang dihasilkan sesuai dengan *propellant* yang tersedia. Untuk membuat komposit yang menghasilkan *metal matrix composite* (MMCs) maka dipilih logam atau logam paduan meliputi *copper*, *iron*, *nickel*, *gold*, *silver*, *lead*, *chromium*, dan paduannya; dan lebih baik *copper* atau paduan *copper* (Benini, 2001).

Pada jurnal internasional tentang *powder metallurgy* (2007) diterangkan bahwa tembaga (Cu) digunakan untuk material proyektil karena memiliki syarat densitas cukup tinggi serta memiliki *high green strength* sehingga sesuai jika digunakan pada produk material *frangible*. Organisasi *Oak Ridge National Laboratory* menyatakan bahwa material tembaga dapat digunakan untuk menggantikan *frangible bullet* berbahan dasar timbal (Pb). Pemilihan tembaga sebagai material alternatif selain karena termasuk material *non-toxic*, tembaga juga merupakan material



yang lunak sehingga dapat menjadi pelumas ketika menjadi material pada penggunaan senapan (Nadkarni, 2003). Selain itu timah memiliki *melting point* yang rendah sehingga dianjurkan untuk digunakan sebagai pengikat (*binder*). Karena timah cair cenderung lebih mudah membasahi serbuk tembaga. Pemaduan ini akan mampu membentuk permukaan partikel tembaga yang rapuh sehingga dapat meningkatkan *frangibility* dari material.

Untuk mengetahui sifat komposit selain dengan pengambilan data pada eksperimen, juga bisa didapatkan secara teori. Dengan menggunakan *Rule of Mixture (ROM)* yang dinyatakan pada persamaan 2.1 dan 2.2 :

$$\rho_c = \rho_m \cdot V_m + \rho_f \cdot V_f \quad (2.1)$$

Dimana:

ρ_c	= densitas komposit
ρ_m	= densitas matriks
ρ_f	= densitas penguat
V_m	= fraksi volume matriks
V_f	= fraksi volume penguat

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.2)$$

Dimana :

ρ	= densitas
m	= massa
v	= volum

Dengan menggunakan rumus densitas (2.2) maka akan diperoleh fraksi massa.

Dengan perumusan pada 2.3,

$$m_m = a \cdot m_c \text{ dan } m_f = b \cdot m_c \quad (2.3)$$

Dimana :

m_m	= massa matrik
m_f	= massa penguat
m_c	= massa komposit
a	= fraksi massa matrik
b	= fraksi massa penguat



Massa serbuk yang terdiri dari massa matriks dan massa *reinforced* dibutuhkan untuk pembuatan komposit dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut.

- Massa matriks

$$m_m = a \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot v_c \quad (2.4)$$

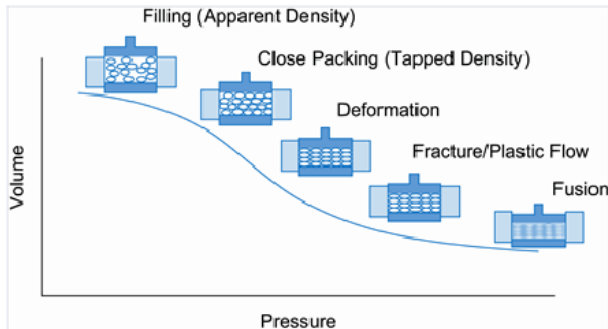
- Massa *reinforced*

$$m_f = b \cdot \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot v_c \quad (2.5)$$

dimana : v_c = volum komposit

2.1.3 Kompaksi dan Sintering Metalurgi Serbuk

Kompaksi merupakan suatu proses pembentukan atau pemampatan terhadap serbuk sehingga mempunyai bentuk tertentu dan mempunyai kekuatan yang cukup untuk menerima proses selanjutnya. Kompaksi berkaitan erat dengan tekanan yang diberikan dari luar untuk mendeformasi serbuk menjadi massa yang memiliki densitas tinggi, selain memberikan bentuk dan mengontrol ukuran serbuk. Artinya tekanan yang diberikan pada serbuk, perilaku mekanik, dan laju penekanan merupakan parameter proses utama yang menentukan hasil kepadatan serbuk. Peningkatan penekanan akan memberikan hasil *packing* yang lebih baik dan penurunan porositas. Ketika tekanan kompaksi dinaikkan, jumlah partikel yang mengalami deformasi plastis akan meningkat (Hewitt, 1971). Adanya kenaikan tekanan yang diberikan maka densitas serbuk akan meningkat dan porositas menurun (Abdoli, 2008). Pada tekanan rendah, aliran plastis dipusatkan pada kontak partikel. Ketika tekanan dinaikkan, aliran plastis yang homogen terjadi seluruhnya. Dengan penekanan yang cukup, seluruh partikel akan mengalami work (*strain hardening*) ketika jumlah porositas berkurang (German, 1984).

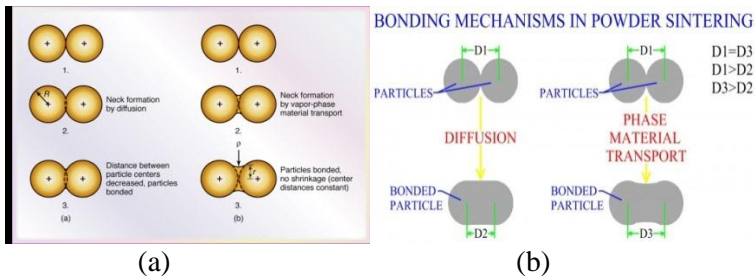


Gambar 2.2 Skema perilaku serbuk pada proses kompaksi
(www.medicinescomplete.com)

Hasil kompaksi akan mengakibatkan komposisi yang tidak homogen, yaitu adanya perbedaan distribusi densitas dan porositas yang disebabkan dengan adanya gesekan antar partikel dan adanya penyusutan selama terjadi deformasi pada produk. Adapun parameter yang mempengaruhi *cold die compaction* adalah ukuran partikel, porositas, *work hardening*, *internal friction*, dan efek distribusi serbuk selama kompaksi (Qureshi, 2008),

Sintering merupakan proses pemanasan produk awal hasil kompaksi pada suatu temperatur yang dilakukan untuk membentuk suatu ikatan antar partikel melalui mekanisme difusi atom sehingga kekuatan produk awal meningkat.

Semakin tinggi tekanan kompaksi akan memperbanyak dislokasi sehingga mempercepat sintering. Selain itu produk awal kompaksi yang ditekan pada tekanan rendah akan menyusut (*shrinkage*) lebih besar daripada produk awal yang ditekan dengan tekanan tinggi karena tekanan kompaksi mengurangi porositas dan menaikkan densitas produk awal.



Gambar 2.3 Ilustrasi skema mekanisme sintering serbuk metal a) Kalpakjian,2006), b) thelibraryofmanufacturing.com)

a) Solid State Sintering

Pada solid state sintering membentuk ikatan antar partikel padat ketika dipanaskan. Ikatan ini menurunkan energi permukaan dengan *removing free surface*, dengan mengeliminasi *grain boundary area* via *grain growth*. Temperatur dibutuhkan untuk membentuk ikatan sinter jika dibandingkan dengan densifikasi yang bergantung pada material dan ukuran partikel. *Homologous temperature* adalah temperatur sintering absolute dibagi dengan *temperature melting absolute*. Material dengan stabilitas kimia yang tinggi dibutuhkan *homologous* yang tinggi pula, rata-rata material memiliki *homologous* antara 0,5-0,8.

Selama sintering terdapat dua fenomena utama yaitu penyusutan (*shrinkage*) dan pertumbuhan butir (*grain growth*). Berikut ini adalah tahapan sintering yang terdiri dari tiga tahap yaitu:

1. Tahapan awal (*initial stage*)

Tahap pengaturan kembali (*rearrangement*). Partikel akan mengalami pengaturan kembali posisinya sehingga bidang kontak antar partikel akan menjadi lebih baik. Pertumbuhan *neck* mulai terjadi pada daerah kontak antar partikel sehingga memungkinkan terbentuknya fase baru. Pada tahapan ini, *shrinkage* yang terjadi mencapai 4 – 5% dan densitas relatif antara 50-60%.



2. Tahapan menengah (*intermediate stage*)
Tahap pertumbuhan butir. Pada tahap ini struktur porositas menjadi lebih halus, tetapi tetap saling berhubungan hingga akhir sintering. Pertumbuhan butir yang terjadi pada tahapan ini akan menghasilkan porositas yang mengecil sebanding dengan perbesaran butir.
3. Tahapan Akhir (*Final stage*)
Tahapan ini terjadi porositas yang tertutup akan mengecil sebagai hasil dari proses difusi dan memungkinkan terjadinya transformasi fasa. Peristiwa tersebut akan mengakibatkan material komposit mengalami penyusutan. Densitas relatif di atas 95% (Waldron, 1978)

b) Liquid Phase Sintering

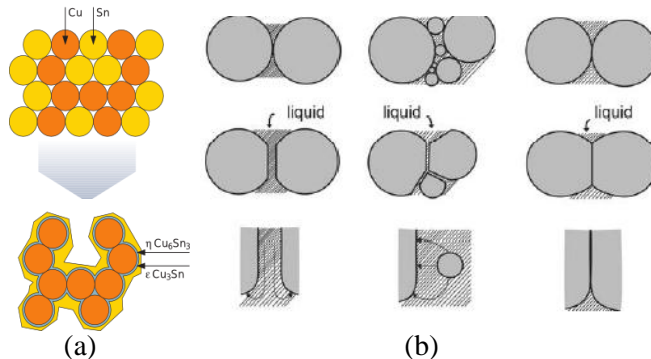
Liquid phase sintering merupakan proses sinter yang dilakukan pada temperatur tertentu dengan melibatkan fasa cair. Syarat material logam yang dapat dilakukan proses *liquid phase sintering* adalah cairan logam harus dapat membentuk lapisan di sekeliling fasa padatan dan cairan logam harus memiliki kelarutan terhadap fasa padat, contohnya ialah Fe-Cu, Cu-Sn, W-Cu (German, 1984)

Dengan temperatur yang lebih tinggi, waktu yang lebih lama, atau ukuran partikel yang lebih kecil, *bond grows* akan lebih cepat dan terjadinya densifikasi bisa dijadikan bukti. *Neck growth* antar partikel yang bersentuhan merupakan aspek yang jelas dari sintering, dan untuk sintering dengan waktu yang sangat lama, batas butir akan bergeser dan partikel menyatu menjadi *single sphere* dengan diameter akhir $2^{1/3}$ kali diameter awal. Pada proses *liquid phase sintering*, terdapat dua kelarutan yang harus diperhatikan, yaitu kelarutan cairan dalam padatan dan kelarutan padatan dalam cairan. Kelarutan cairan dalam padatan yang tinggi tidak diharapkan karena mendorong fasa cair masuk ke dalam fasa padat. Selanjutnya terbentuk kelarutan yang tidak setimbang sehingga timbul porositas dan terjadi pengembangan selama proses sinter. Peristiwa timbulnya porositas ini sering disebut



dengan istilah *swelling*. Sedangkan kelarutan padatan dalam cairan yang semakin besar sangat diinginkan karena mendorong fasa padat masuk ke dalam fasa cair sehingga mengisi porositas yang berada di dalam matriks.

Peristiwa terisnya porositas ini disebut dengan istilah *shrinkage*. Kelarutan partikel padat tergantung pada ukuran partikel dimana semakin kecil ukuran partikel, maka kelarutan akan semakin tinggi. Kelarutan yang baik bermanfaat bagi pembasahan, pengendapan kembali, pertumbuhan butir, dan perubahan dimensi selama proses sinter. (Ekawati, 2008)



Gambar 2.4 Mekanisme *liquid phase sintering* pada material Cu-Sn (Thomas, 2011) (German, 2008)

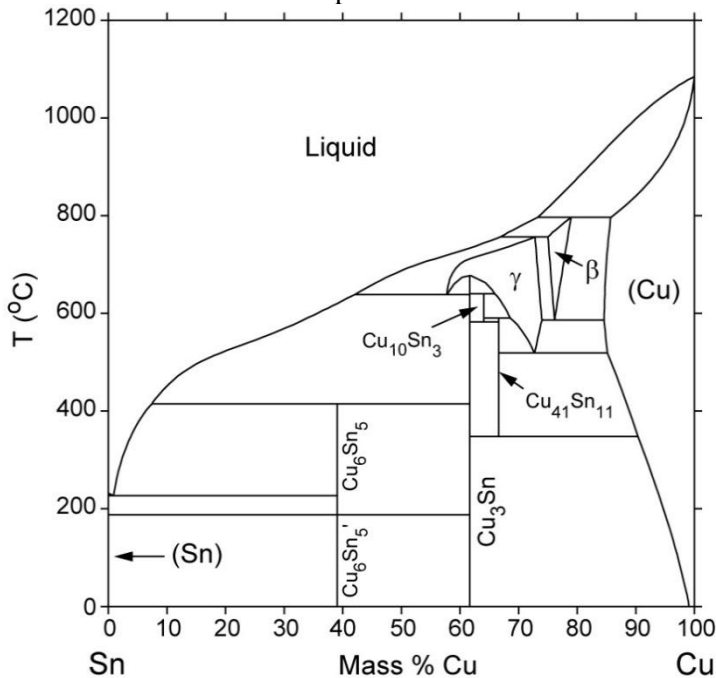
2.1.4 Senyawa Intermetalik Material Frangible

Pada proses sintering, peningkatan temperatur menyebabkan partikel Sn akan secara cepat meleleh karena titik leleh Sn adalah temperatur $231,9^{\circ}\text{C}$ sedangkan titik leleh Cu adalah 1083°C . Atom-atom Cu berdifusi ke dalam cairan Sn membentuk fasa intermetalik (Mishra, 2013). Pada diagram fasa Cu-Sn, ketika Cu tersebar dalam lelehan Sn, kristal Cu_6Sn_5 mudah tumbuh. Fasa tersebut (bersama dengan Cu_3Sn) adalah fasa yang akan terbentuk (Larsson, 1994). Selama proses sintering, fasa Cu_6Sn_5 terbentuk lebih banyak dan membentuk struktur lapisan yang menutup laju difusi. Hal ini menyebabkan pembentukan fasa



Cu_3Sn lebih sedikit dibanding fasa Cu_6Sn_5 . Pembentukan dari fasa Cu_3Sn dimulai dari perubahan morfologi dari lapisan Cu_6Sn_5 . Pertumbuhan fasa Cu_6Sn_5 hanya dikontrol oleh jumlah Cu yang dalam komposit Cu-Sn.

Namun, pada kondisi temperatur sintering tinggi, lapisan Cu_3Sn terbentuk dalam waktu singkat (Rao, 2010). Hal ini dikarenakan terdapat energi termal yang besar sehingga menyebabkan energi aktivasi yang tinggi sehingga terjadi proses interdifusi dari unsur-unsur pembentuk.



Gambar 2.5 Diagram fasa Cu-Sn (Shim, 1996)

Mikrostruktur dari paduan Cu-Sn. Ketika partikel Sn meleleh, secara bertahap partikel Cu menyebar pada Sn membentuk senyawa intermetalik (Mishra, 2013). Dengan



perlahan-lahan, kelarutan Cu pada Sn berkurang dan berhenti ketika Sn telah berdifusi dengan Cu secara keseluruhan.

Selain kelarutan padatan dalam cairan, dalam *liquid phase sintering* terjadi pula fenomena kelarutan cairan dalam padatan. Cairan Sn menyebar pada Cu membentuk fasa η (eta) dimana titik leleh tertinggi pada 600°C . Berikutnya pada pemanasan hingga mencapai 500°C tren difusi adalah partikel Sn menuju matriks Cu sehingga akan terbentuk pinggiran fasa α -perunggu pada daerah kaya Sn. Dimana terjadi fasa rangkap η (eta) dan δ (delta). Pemanasan yang semakin berlanjut, area α -perunggu akan meningkat (Sofyan, 1996).

Beberapa senyawa intermetalik pun dapat diamati propertiesnya seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. *Properties* senyawa intermetalik pada Cu-Sn (Rao, 2010)

Properties	Fasa	
	Cu_3Sn	Cu_6Sn_5
Komposisi	79,60% Cu; 17,60% Sn	56,67% Cu; 49,94% Sn
Kekerasan	6,5 GPa	5,9 GPa
Modulus elastisitas	136 GPa	108 GPa

Dari Tabel 2.4 di atas terlihat bahwa sifat mekanik dari fasa Cu_6Sn_5 dan Cu_3Sn berbeda. Fasa Cu_3Sn memiliki nilai kekerasan dan modulus elastisitas yang tinggi. Hal ini karena Cu_3Sn mengandung unsur Cu yang lebih banyak dibanding fasa Cu_6Sn_5 (Rao, 2010).

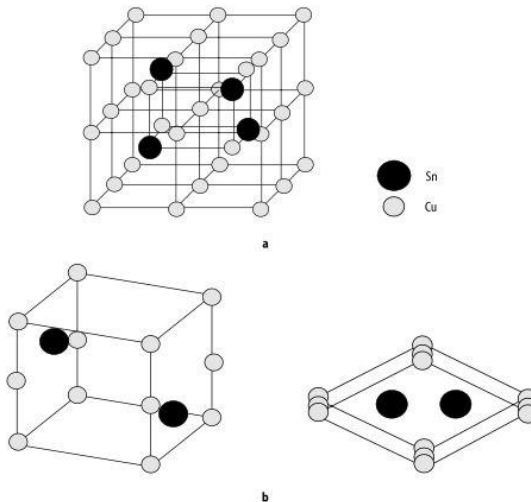
Fasa Cu_6Sn_5 memiliki 2 struktur kristal. Pada temperatur tinggi Cu_6Sn_5 memiliki struktur kristal hexagonal sedangkan pada temperatur rendah memiliki struktur monoklinik. Transformasi alotropik dari monoclinic Cu_6Sn_5 (η') yang stabil pada temperatur rendah ke hexagonal Cu_6Sn_5 (η) yang stabil pada temperatur



tinggi mulai terbentuk pada temperatur 186°C (Mishra, 2013). Cu_6Sn_5 yang berstruktur kristal monoklinik stabil hingga temperatur 200°C dan sekitar temperatur 210°C akan terbentuk $\varepsilon\text{-Cu}_3\text{Sn}$ (Wu, 2012).

Pada temperatur 600°C sudah tidak terbentuk fasa ε dan δ meskipun titik leleh dari fasa ε adalah 640°C (Sorokin, 1985). Selain itu, proses sintering pada campuran serbuk Cu dan Sn, fasa liquid tidak akan memberikan efek densifikasi selama proses sintering pada temperatur rendah. Pengaruh komposisi Sn terhadap volume penyusutan dan densitas relatif setara dengan temperatur *homologous* $T_{\text{sint}}/T_{\text{leleh}}$. Kebanyakan material memiliki temperatur *homologous* diantara 0,5 dan 0,8 (German, 1996).

Pada Gambar 2.7 menggambarkan struktur kristal dari Cu-Sn, sedangkan pada Tabel 2.3 perbandingan struktur kristal dan parameter kisi dari Cu, Sn, Cu_3Sn dan Cu_6Sn_5 .



Gambar 2.6 Struktur kristal (a) fasa ε (Cu_3Sn) : orthohombik dan (b) fasa η (Cu_6Sn_5) : monoclinic pada temperatur rendah (fasa η') atau hexagonal pada temperatur tinggi (fasa η) (Kwon, 2007)



Tabel 2.3 Struktur kristal dan lattice parameter senyawa Cu-Sn (Kwon, 2007)

Fasa	Struktur Kristal	Lattice Parameter a(Å)	b(Å)	c(Å)
β-Sn	Tetragonal	5.831	5.831	5.831
η'-Cu ₆ Sn ₅	Monoklinik	11.022	7.282	9.827
ε-Cu ₃ Sn	Orthorhombik	5.521	33.25	4.328
Cu	Kubik	3.6150	3.6150	3.6150

2.1.5 Uji Balistik dan *Frangibility Factor*

Pengujian balistik harus dilakukan untuk mengetahui kualitas dan keamanan objek balistik. Objek pengujian balistik antara lain proyektil, kelongsong, material pesawat tempur, *body armor*, dan peralatan militer lainnya yang berhubungan dengan menembak. Tekanan gas, hambatan, dan kecepatan proyektil saat melintas di dalam laras memiliki keterkaitan dan mempengaruhi energi kinetik material saat keluar dari laras (Buhrle Zurich, 1981).

Fenomena yang terjadi pada uji balistik dalam akan mempengaruhi proses balistik selanjutnya. Erwin Kreyzig (1993) merumuskan hal-hal yang mempengaruhi laju material yang dipaparkan pada persamaan berikut.

a) Koefisien Bentuk Proyektil (i)

Sebelum mencari bentuk proyektil (i), terlebih dahulu dicari bentuk proyektil/normal point (n) dengan persamaan (2.6)

$$N = \frac{Rk}{d} \quad (2.6)$$

dimana N = bentuk proyektil/*normal point*
 Rk = radius kelengkungan proyektil (mm)
 d = kaliber proyektil (mm)



Setelah didapat nilai *normal point* (n) maka nilai koefisien bentuk proyektil (i) dapat dihitung dengan persamaan (2.7) (Heatcher, 1962)

$$i = \frac{2}{N} \sqrt{\frac{4N-1}{7}} \quad (2.7)$$

b) Berat Udara (Δ)

Laju proyektil dihambat oleh udara. Massa jenis udara dapat dihitung dengan persamaan (2.8)

$$\Delta = \frac{H - \frac{3}{8} f p}{R T} \quad (2.8)$$

dimana Δ = massa jenis udara (kg/m^3)
 H = tekanan udara (mm Hg)
 f = kelembaban nisbi dalam (%)
 p = tekanan uap air jenuh pada temperatur $T^{\circ}\text{C}$
 R = ketetapan gas universal ($2,1527^{\text{mmHg}}/\text{gram K}$)
 T = temperatur (K)

c) Koefisien Balistik (C')

Koefisien balistik merupakan besaran angka yang berpengaruh terhadap lintasan material. Koefisien balistik ditentukan dalam persamaan (2.9)

$$C' = \frac{m_p \Delta_n}{1000 d^2 i \Delta} \quad (2.9)$$

dimana C' = koefisien balistik
 m_p = massa proyektil (kg)
 i = koefisien bentuk proyektil
 d = diameter proyektil (m)
 Δ_n = massa jenis udara normal (1.164 kg/m^3)
 Δ = massa jenis udara terukur (kg/m^3)



d) Perubahan Kecepatan (Δv)

Proyektil memiliki kecepatan v_0 ketika keluar dari kelongsong. Setelah meninggalkan laras, proyektil mengalami gerak lurus berubah beraturan (GLBB) sehingga kecepatan akan berkurang. Perubahan kecepatan disetiap jarak x ditentukan dengan persamaan (2.10)

$$\Delta v = \frac{x}{C'} \frac{f(v)}{v} \quad (2.10)$$

dimana Δv = Perubahan kecepatan (m/s)
 x = jarak terukur (m)
 $f(v)$ = fungsi kecepatan dari Tabel (Lampiran V)
 v = kecepatan pada jarak x (m/s)

Kecepatan proyektil akan terus berkurang selama meluncur di udara akibat gaya gesek dengan udara. Kecepatan proyektil tiap perubahan jarak (v_x) dinyatakan dalam persamaan (2.11) berikut ini.

$$v_x = v_0 - \Delta v \quad (2.11)$$

dimana v_0 = kecepatan awal proyektil (m/dt)
 v_x = kecepatan proyektil pada jarak x (m/dt)
 Δv = kecepatan yang hilang (m/dt)

e) Energi Kinetik (E_k)

Setiap proyektil mengalami perubahan kecepatan, maka energi kinetik proyektil juga berubah (Sears, Zamansky 1963), sebagaimana pada persamaan (2.12) berikut ini.

$$E_k = \frac{1}{2} m_p \cdot v_x^2 \quad (2.12)$$

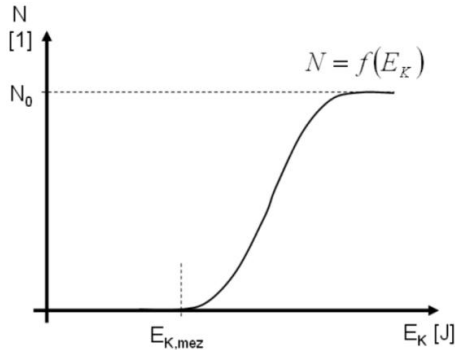
dimana E_k = energi kinetik (joule)
 m_p = massa proyektil (kg)
 v_x = kecepatan pada jarak x (m)



Material memiliki kecepatan (v) tertentu saat meluncur keluar dari laras menuju target. Semakin jauh material meluncur dari laras, maka kecepatan material juga semakin berkurang sampai material menghantam target. Besar kecepatan ini mempengaruhi energi kinetik (E_k) material ketika menghantam target. Material *frangible* memiliki batas kecepatan minimum (v_{lim}) yang menentukan besar batas energi kinetik ($E_{k,lim}$)-nya. Batas kecepatan minimum ini adalah kecepatan tertinggi material saat menghantam target keras dimana material tersebut tidak pecah menjadi fragmen atau serpihan-serpihan. Apabila kecepatannya melebihi (v_{lim}) maka material *frangible* tersebut pecah. Ketika nilai energi kinetik material telah melewati batas energi kinetiknya, maka jumlah fragmen material terus meningkat seiring meningkatnya energi kinetik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Perbandingan antara energi kinetik (E_k) material saat menghantam target dengan batas energi kinetik ($E_{k,lim}$) dinyatakan sebagai *Frangibility Factor*, sesuai dengan persamaan (2.13)

$$FF = \frac{E_k}{E_{k,lim}} \quad (2.13)$$

FF memiliki nilai minimum. Apabila FF kurang dari 1, maka proyektil tidak akan pecah setelah menghantam benda keras, dan termasuk material konvensional. Apabila FF lebih besar dari 1, maka proyektil akan pecah saat menghantam benda keras dan dapat digolongkan sebagai material *frangible*.



Gambar 2.7 Hubungan antara jumlah pecahan material (N) dengan energi kinetik (E_k) setelah menumbuk target keras (Rydlo, 2010)

Nilai batas energi kinetik ($E_{k,lim}$) ditentukan oleh nilai batas kecepatan (v_{lim}) yang ditunjukkan oleh persamaan 2.14. Nilai batas kecepatan (v_{lim}) ditentukan oleh beberapa faktor seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.15.

$$E_{k,lim} = \frac{1}{2} \cdot m_p \cdot v_{lim}^2 \quad (2.14)$$

$$v_{lim} = \frac{\varepsilon_{d,max} 2K}{\rho l} \sqrt{m_p \left(\frac{4l}{3K\pi d^2} + \frac{1}{c} \right)} \quad (2.15)$$

dimana :

FF = *frangibility factor*

$E_{k,lim}$ = batas energi kinetik (J)

v_{lim} = batas kecepatan material (m/s)

$\varepsilon_{d,max}$ = *maximal relative compression*

K = modulus elastisitas (N/m^2)

l = panjang material (m)

d = diameter material (m)

c = kekakuan target (N/m)

Nilai FF bisaditentukan dengan cara eksperimen dan cara pemodelan. Pemodelan dilakukan dengan memberikan pembebanan dinamis terhadap proyektil, sebagai beban yang



terjadi saat proyektil menghantam target keras. Faktor-faktor yang ditentukan pada pemodelan ini adalah sebagai berikut.

1. Model material *frangible*,
2. Material material,
3. Model target, dan
4. Model gaya yang dialami material saat menumbuk target keras.

Seluruh data diatas menggunakan data material *frangible* yang sebenarnya.

2.2 Design of Experiment (DoE)

Design of Experimen atau desain percobaan adalah teknik yang digunakan untuk menuntun pemilihan eksperimen yang harus dilakukan dengan cara yang paling efisien (Emerson, 2013). Desain Eksperimen adalah percobaan yang dilakukan untuk mempelajari atau menemukan sesuatu mengenai proses yang ada atau membandingkan efek dari beberapa kondisi terhadap suatu fenomena (Montgomery, 1991). Dalam melakukan DoE perlu mendefinisikan masalah dan memilih variable atau yang disebut dengan faktor parameter. Dan jumlah variable yang diasumsikan didalam DoE adalah terbatas atau diasumsikan sedikit (Emerson, 2013).

Petunjuk dalam melakukan desain eksperimen menurut Montgomery, 2012 adalah sebagai berikut,

1. Pengakuan dan pernyataan dari masalah
2. Melakukan pemilihan pada variable respon
3. Memilih faktor, level dan rentang
4. Memilih desain eksperimental
5. Melakukan eksperimen
6. Analisis statistic pada data
7. Kesimpulan dan rekomendasi



Tabel 2.4 Perbandingan teknik dalam melakukan desain eksperimen

No	Teknik DoE	Kelebihan	Kekurangan
1	Randomized complete Block Design (RCBD)	<ul style="list-style-type: none">• RCBD berguna ketika kita tertarik dalam satu fokuskan faktor yang mempengaruhi variable respon yang lebih relevan• Memfokuskan perhatian pada faktor utama	<ul style="list-style-type: none">• Data harus heterogen dan berasal dari satu sumber variasi• Hanya digunakan untuk mereduksi pengaruh dari satu sumber variasi
2	<i>Latin Square</i>	<ul style="list-style-type: none">• Bisa digunakan untuk mengkontrol dua variabel sekaligus.• Hanya membutuhkan sedikit bahan/sampel untuk melakukan eksperimen	<ul style="list-style-type: none">• Tidak boleh ada interaksi antara perlakuan dengan baris dan kolom, yang akan menyebabkan sumber keragaman data diluar perlakuan• Apabila jumlah perlakuan besar, rancangan ini tidak praktis karena memerlukan jumlah perulangan yang besar sehingga dari segi biaya tidak ekonomis.
3	<i>Full Factorial Design</i>	<ul style="list-style-type: none">• Jumlah eksperimen bersifat sangat mendetail• Memberikan hasil	<ul style="list-style-type: none">• Biaya terlalu mahal• Menghabiskan banyak waktu• Jumlah eksperimen



		yang optimal	yang harus dilakukan banyak
5	Box Behnken	<ul style="list-style-type: none"> • Menghasilkan persamaan matematis sehingga • Bisa didapatkan nilai optimal dari parameter-parameter yang digunakan pada penelitian 	<ul style="list-style-type: none"> • Membutuhkan penelitian yang cukup besar dan mahal • Memakan cukup banyak waktu *tidak sebanyak metode full factorial design
6	Taguchi	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat mengurangi jumlah pelaksanaan percobaan jika dibandingkan dengan menggunakan percobaan full factorial, sehingga dapat menghemat waktu dan biaya • Dapat mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas melalui perhitungan Average dan Rasio S/N, sehingga faktor-faktor yang berpengaruh tersebut dapat diberikan perhatian khusus. 	<ul style="list-style-type: none"> • Apabila percobaan ini dilakukan dengan banyak faktor dan interaksi akan terjadi pembauran beberapa interaksi oleh faktor utama, akibatnya keakuratan hasil percobaan akan berkurang, jika interaksi yang diabaikan tersebut memang benar-benar berpengaruh terhadap karakteristik yang diamati.



Optimasi

Adalah sebuah langkah logis yang dilakukan setelah melakukan eksperimen dari beberapa variable yang mempengaruhi untuk mengoptimalkan. Dimana langkah ini berguna untuk menentukan milyah dalam faktor-faktor penting yang mengarah pada respon yang terbaik

2.3 Metode Taguchi

Desain eksperimen dengan metode Taguchi termasuk dalam kelompok *fractional factorial* eksperimen. Taguchi menyusun *orthogonal array* untuk tata letak eksperimennya. keuntungan dari *orthogonal array* (OA) adalah kemampuan untuk mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah test yang minimum. Di dalam metode Taguchi hasil eksperimen harus dianalisa untuk dapat memenuhi satu atau lebih kondisi berikut ini :

1. Menentukan kondisi yang terbaik atau optimum untuk sebuah produk atau sebuah proses.
2. Memperkirakan kontribusi dari masing-masing faktor.
3. Memperkirakan respon atau akibat yang mungkin dari kondisi optimum.

Langkah-langkah dalam melakukan desain parameter dengan taguchi adalah sebagai berikut :

1. Menentukan karakteristik kualitas, nilai apa yang harus dipotimasi
 2. Menentukan jumlah level untuk desain parameter
 3. Melakukan desain matrck eksperimen dan menentukan prosedur data analisis
 4. Menghitung matriks ekperimen
 5. Melakukan analisis dari hasil eksperimental dengan menggunakan S/N dan analisis ANOVA
 6. Menyeleksi level parameter yang memberikan hasil optimal
 7. Melakukan prediksi pada level ini
 8. Verifikasi desain parameter dengan melakukan konfirmasi eksperimen (Menurut Koilraj, 2012)
-



2.3.1 *Orthogonal Array*

Taguchi menggunakan *Orthogonal Array* (OA) untuk mendiskripsikan jumlah eksperimen yang dilakukan. Desain OA sering digunakan dalam desain eksperimen dengan multilevel faktor. Agar dapat menentukan orthogonal array yang sesuai dengan eksperimen, perlu dilakukan prosedur sebagai berikut,

1. Mendefinisikan jumlah faktor dan levelnya.

Melakukan pengamatan terhadap parameter-parameter yang terdapat dalam suatu proses produksi atau suatu mesin proses produksi. Dari parameter-parameter yang diketahui, dilakukan penentuan level pengamatan untuk tiap faktor yang ada, sehingga memudahkan dalam melakukan pengamatan.

2. Tentukan derajat kebebasan (degrees of freedom).

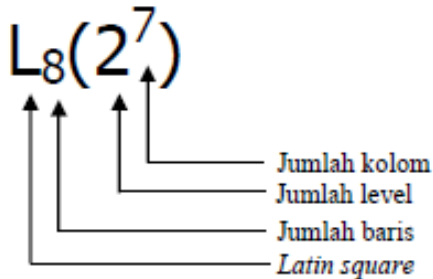
Derajat kebebasan (degrees of freedom) adalah sebuah konsep yang mendiskripsikan seberapa besar eksperimen yang mesti dilakukan dan seberapa banyak informasi yang didapatkan dari eksperimen tersebut. Dimana jumlah eksperimen yang harus dilakukan didalam orthogonal array \geq total DoF. Dan dalam menyeleksi *orthogonal array* harus berdasarkan kombinasi dari level faktor (Balismono, 2008).

Berikut aturan degree of Freedom (DoF):

- Secara keseluruhan mean selalu memiliki 1 derajat kebebasan
- Setiap faktor, A, B, ...; jika jumlah level adalah n_A , n_B , untuk setiap faktor, nilai derajat kebebasannya adalah = jumlah level-1
- Ketika ada faktor interaksi, seperti contoh interaksi antara AB nilai derajat kebebasannya adalah $= (n_A - 1)(n_B - 1)$ (Balismono, 2008)

3. Memilih *orthogonal array*.

Dalam memilih orthogonal array yang cocok atau sesuai, diperlukan suatu persamaan dari orthogonal array tersebut yang mempresentasikan jumlah faktor, jumlah level dan jumlah pengamatan yang akan dilakukan. Bentuk umum dari model *orthogonal array* dijelaskan pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Notasi *Orthogonal Array*

Uraian untuk notasi pada gambar 2.6 sebagai berikut:

1. Notasi L, merupakan informasi yang ber.dasarkan pada penyusunan faktor *latin square*. Penyusunan latin square adalah penyusunan *square* matriks dengan pemisahan faktor-faktor yang berpengaruh. Sehingga notasi L menggambarkan informasi *orthogonal array*.
2. Jumlah baris, merupakan jumlah eksperimen yang dibutuhkan pada saat menggunakan *orthogonal array*.
3. Jumlah kolom, merupakan jumlah faktor yang dapat dipelajari dalam *orthogonal array* yang dipilih.
4. Jumlah level, merupakan jumlah level dari faktor faktor yang digunakan dalam eksperimen.

Berikut adalah taguchi orthogonal array selector berdasarkan parameter dan levelnya (Kowalrazyk, 2014)

Tabel 2.5 Array Selektor

	PARAMETER											
L		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
E	2	L4	L4	L8	L8	L8	L8	L12	L12	L12	L12	L16
V	3	L9	L9	L9	L18	L18	L18	L18	L27	L27	L27	L27
E	4	L16	L16	L16	L16	L32	L32	L32	L32	L32		
L	5	L25	L25	L25	L25	L25	L50	L50	L50	L50	L50	L50



4. Melakukan Analisis.

Hasil yang diperoleh dari Orthogonal Irray kemudian dianalisis untuk mencapai tujuan berikut:

- Mengestimasi kontribusi dari faktor yang berpengaruh terhadap kualitas.
- Memperoleh kondisi proses atau produk yang terbaik (optimum).
- Memperkirakan respon dari parameter desain produk pada kondisi optimum

2.3.2 Karakteristik Kualitas

Karakteristik kualitas (*variabel respons*) adalah obyek yang menarik dari produk atau proses. Pemilihan karakteristik kualitas menjadi sangat penting karena karakteristik kualitas yang diinginkan dapat saling menambahkan atau tetap. Rasio *Signal to noise* (S_n) adalah kontribusi original dari Taguchi pada rancangan eksperimen yang penting tetapi juga kontroversial, karena sampai saat ini masih menjadi perdebatan. Taguchi mendefinisikan rasio S/N pada persamaan 2.16 :

$$\eta = -10 \cdot \text{Log (M.S.D.)} \quad (2.16)$$

Dimana M. S. D. adalah Mean Square deviation untuk karakteristik output. Karakteristik rasio S/N digunakan untuk mencari nilai pada karakteristik kualitas. Karakteristik kualitas dapat dikelompokkan menurut nilai targetnya sebagai berikut:

1. *Nominal the best*

Nominal the best adalah karakteristik kalitas terukur dengan nilai target yang ditentukan secara spesifik. Nilai tersebut dapat positif maupun negative, yang ditunjukkan pada persamaan 2.17

$$M.S.D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (y_i - m)^2 \quad (2.17)$$



2. *Smaller the better*

Smaller the better, adalah karakteristik kualitas terukur dengan nilai non-negatif dan targetnya adalah nilai yang sekecil-kecilnya (nol). Yang ditunjukkan pada persamaan 2.18

$$M.S.D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (y_i)^2 \quad (2.18)$$

3. *Higher the better*

Higher the better adalah karakteristik kualitas terukur dengan nilai non-negatif yang mempunyai kondisi ideal dan nilai targetnya adalah nilai yang sebesar-besarnya (tak terbatas).

$$M.S.D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{y_i}\right)^2 \quad (2.19)$$

Dimana y adalah hasil eksperimen, observasi atau karakteristik kualitas, M adalah nilai target dari hasil dan N adalah jumlah pengulangan. Dalam penentuan optimasi bisa dihitung melalui persamaan 2.20

$$Y_{opt} = Y_i + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^q (Y_i + y_m) \quad (2.20)$$

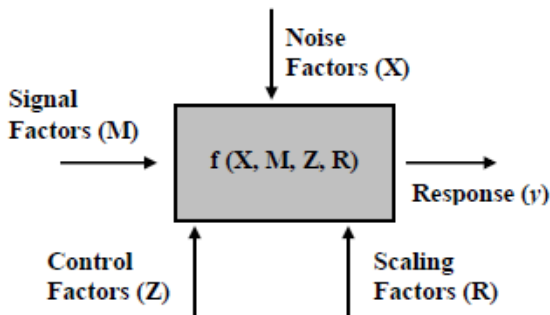
Dimana Y_m adalah total mean dari hasil, Y_i adalah mean hasil pada hasil yang optimal dan q adalah jumlah desain parameter yang secara signifikan mempengaruhi perlakuan karakteristik (Akbari,2014)



2.3.3 Parameter

Beberapa faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas dijelaskan pada Gambar 2.6. Faktor-faktor diklasifikasikan menjadi faktor *noise*, faktor kontrol, faktor signal, dan faktor skala. Penjelasan lebih lanjut mengenai Gambar 2.6 sebagai berikut:

- Faktor *noise*, suatu parameter yang menyebabkan penyimpangan karakteristik kualitas dari nilai targetnya disebut faktor *noise*. Faktor *noise* dapat mempengaruhi karakteristik kualitas secara tidak terkendali dan sulit diprediksi. Faktor *noise* biasanya sulit, mahal dan tidak menjadi sasaran pengendalian. Tetapi untuk tujuan eksperimen, faktor *noise* perlu dikendalikan dalam skala kecil.



Gambar 2.9 Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas (Triawati, 2007)

- Faktor kontrol (terkendali), parameter-parameter yang nilai-nilainya ditentukan oleh ahli teknik. Faktor kontrol dapat mempunyai nilai satu atau lebih yang disebut level. Pada akhir eksperimen, level yang sesuai dalam faktor terkendali akan dipilih. Salah satu aspek dari perancangan kokoh adalah mencari kondisi level optimal untuk faktor terkendali sehingga karakteristik kualitas tidak sensitif terhadap *noise*.



- c. Faktor *signal*, faktor-faktor yang mengubah nilai-nilai karakteristik kualitas yang akan diukur. Karakteristik kualitas dalam perancangan eksperimen dimana faktor *signal* mempunyai nilai konstan (dalam hal ini tidak dimasukkan sebagai faktor) disebut karakteristik statis. Jika faktor *signal* dapat mengambil banyak nilai, maka karakteristik mempunyai sifat dinamik. Faktor *signal* tidak ditentukan oleh ahli teknik, tetapi oleh konsumen berdasarkan hasil yang diinginkan.
- d. Faktor skala, faktor yang digunakan untuk mengubah rata-rata level karakteristik kualitas untuk mencapai hubungan fungsional yang diperlukan antara faktor *signal* dengan karakteristik kualitas. Faktor skala disebut juga faktor penyesuaian.

2.3.4 Analisis Variansi

Analisis variansi merupakan suatu metode pengambilan keputusan berdasarkan informasi statistik untuk mengetahui perbedaan hasil dari suatu perlakuan. Analisis variansi membagi variansi menjadi sumber-sumber variansi dengan mempertimbangkan derajat kebebasan sumber-sumber variansi tersebut dalam eksperimen. Sehingga tujuan perhitungan analisis variansi pada metode perancangan Taguchi adalah untuk mencari faktor-faktor yang mempengaruhi performansi nilai respon. Data-data yang diambil, baik data kondisi sebenarnya maupun data hasil eksperimen dalam *robust design* dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu:

1. Variabel, yaitu data yang dapat dipertanggungjawabkan selama pengukuran dalam skala yang kontinu.
2. Atribut, yaitu data dari eksperimen yang mempunyai karakteristik yang bukan kontinyu tetapi dapat diklasifikasikan dalam skala diskret.
3. Digital, yaitu suatu data yang memiliki nilai 0 atau 1.



Dalam perhitungan analisis variansi metode Taguchi langkah-langkah pengerjaannya adalah sebagai berikut:

Langkah 1: menghitung rata-rata respon setiap eksperimen sesuai persamaan 2.21:

$$\bar{y}_i = \frac{\sum x}{n} \quad (2.21)$$

Langkah 2: menghitung rata-rata total seluruh eksperimen dengan persamaan 2.22:

$$\bar{Y} = \frac{\sum y}{n} \quad (2.22)$$

Langkah 3: membuat tabel respon, perbedaan dapat diketahui dengan cara melakukan pengurangan nilai tertinggi dengan nilai terendah dari tiap-tiap level kemudian diranking dari nilai tertinggi sampai nilai terendah kemudian dimasukkan dalam tabel respon seperti Tabel 2.6 dibawah ini.

Tabel 2.6 Respon faktor

	Faktor A	Faktor B	...	Faktor X
Level 1				
Level 2				
...				
Level Y				
Different				
Rank				

Langkah 4: menghitung *the total sum of squares* dengan persamaan 2.23:

$$ST = \sum y^2 \quad (2.23)$$

Langkah 5: menghitung *the sum of squares due to the mean* dengan persamaan 2.24:

$$Sm = ny^{-2} \quad (2.24)$$



Langkah 6: menghitung *the sum of squares due to the factors* dengan persamaan 2.25:

$$SSi = (n_{i1}x_{i1}^{-2} + n_{i2}x_{i2}^{-2} + \dots + n_{ij}x_{ij}^{-2}) - S_m \quad (2.25)$$

Langkah 7: menghitung *the sum of squares due to the error* dengan persamaan 2.26:

$$SSe = ST - S_m - (SA + SB + \dots + S_i) - S_m \quad (2.26)$$

Langkah 8: menghitung *the mean sum of squares* dengan persamaan 2.27:

$$Se = \frac{Sq_i}{v_i} \quad (2.27)$$

Langkah 9: menghitung *F-ratio* dengan menggunakan persamaan 2.28:

$$Fi = \frac{Mq_i}{S_e} \quad (2.28)$$

Langkah 10: menghitung *pure sum of squares* dengan menggunakan persamaan 2.29:

$$SSi' = Si - (v_i \times Ve) \quad (2.29)$$

Langkah 11: menghitung *percent contribution* dengan menggunakan persamaan 2.30:

$$\rho_i = \frac{SS_i'}{SS_t} \times 100\% \quad (2.30)$$

Langkah 12: membuat tabel analisa variansi hasil perhitungan

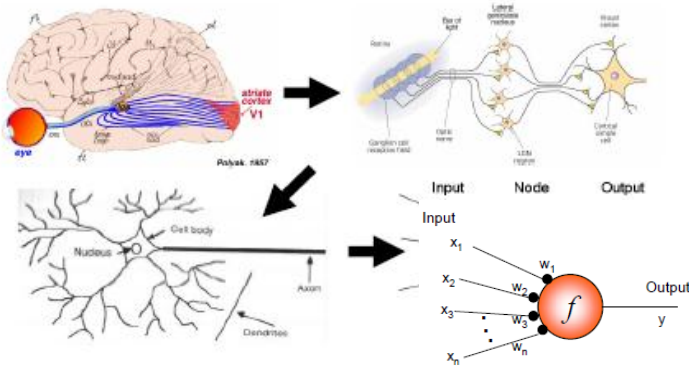
2.4 Neural Network

Neural Network (NN) adalah suatu metode pembelajaran yang diinspirasi dari jaringan sistem pembelajaran biologis yang terjadi dari jaringan sel syaraf (neuron) yang terhubung satu dengan yang lainnya. Struktur NN yang digunakan adalah



Backpropagation (BP) yang merupakan sebuah metode sistematis untuk pelatihan multilayer. Metode ini memiliki dasar matematis yang kuat, objektif dan algoritma ini mendapatkan bentuk persamaan dan nilai koefisien dalam formula dengan meminimalkan jumlah kuadrat galat error melalui model yang dikembangkan pada *training set* (Bilgil & Altun, 2008).

Pembuatan struktur jaringan saraf tiruan diilhami oleh struktur jaringan otak manusia. Dimana neuron adalah satuan unit pemroses terkecil pada otak, bentuk sederhana sebuah neuron yang oleh para ahli dianggap sebagai satuan unit pemroses. Pada tahun 1943, McCulloch dan Pitts memperkenalkan model matematika yang merupakan penyederhanaan dari struktur sel saraf yang sebenarnya pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 *McCulloch & Pitts neuron model* (Nugroho, 2003)

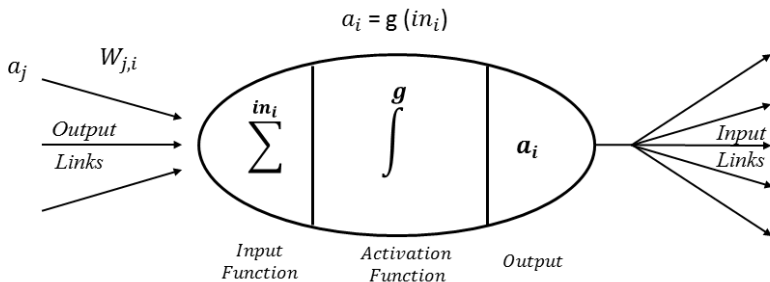
Dari gambar tersebut memperlihatkan bahwa sebuah neuron memiliki tiga komponen

- Sinap (w_1, w_2, \dots, w_n)
- Alat penambah (adder)
- Fungsi aktifasi (f)



Dimana korelasi antara ketiga komponen ini dirumuskan pada persamaan 2.31

$$y = f \sum_{i=1}^n (x_i + w_i) \quad (2.31)$$



Gambar 2.11 Model tiruan sebuah neuron (Akbari, 2014)

Dewasa ini, neural network telah diaplikasikan di berbagai bidang. Hal ini dikarenakan neural network memiliki kelebihan-kelebihan sbb.

1. Dapat memecahkan problema non-linear yang umum dijumpai di aplikasi
2. Kemampuan memberikan jawaban terhadap pattern yang belum pernah dipelajari (generalization)
3. Dapat secara otomatis mempelajari data numerik yang diajarkan pada jaringan tersebut

2.4.1 Algoritma *Backpropagation* (BP)

Algoritma *backpropagation* pada *Neural Network* (BPPN) merupakan metode sistematis untuk *training* (kalibrasi) pada multilayer jaringan syaraf atau perceptron berlapis banyak (*multilayer perceptrons*). Lapisan (layer) pertama terdiri dari satu set input dan lapisan akhir merupakan output (target). Diantara



lapisan input dan lapisan output terdapat lapisan ditengah, yang juga dikenal dengan lapisan tersembunyi (*hidden layers*), bisa satu, dua, tiga dan seterusnya. Dalam praktek, banyaknya *hidden layers* paling banyak adalah tiga lapis. Input layer merepresentasikan variabel input, *hidden layer* merepresentasikan ketidaklinieran (*non-linearity*) dari sistem jaringan sedangkan output layer berisi variabel output, Output lapis terakhir dari *hidden layer* langsung dipakai sebagai output dari neural network.

Proses pelatihan BP memerlukan tiga tahapan, yaitu *feedforward* data input untuk pelatihan, *backpropagation* untuk nilai kesalahan (*error*) serta penyesuaian nilai bobot tiap node masing-masing layer pada ANN. Diawali dengan *feedforward* nilai input, tiap input unit ke-*i* (x_i) menerima sinyal input yang selanjutnya akan dipancarkan ke *hidden layer* z_1, \dots, z_p . Selanjutnya *hidden unit* ke-*j* akan menghitung nilai sinyal (z_j), yang akan dipancarkan ke output layer, menggunakan fungsi aktivasi *f* Secara sederhana BPNN dijelaskan sebagai berikut, suatu pola input dimasukkan ke dalam sistem jaringan untuk menghasilkan output, yang kemudian dibandingkan dengan pola output aktual. Jika tidak terdapat perbedaan antara keluaran dari sistem jaringan dan aktualnya, maka pembelajaran tidak diperlukan. Dengan kata lain, suatu bobot yang menunjukkan kontribusi input node ke *hidden node*, serta dari *hidden node* ke output, dimana jika terjadi selisih (*error*) antara nilai output dari sistem jaringan dengan aktualnya, maka perbaikan bobot dilakukan secara mundur, yaitu dari output melewati *hidden node* dan kembali input node. Secara matematis dapat dijelaskan dalam algoritma *backpropagation* pada Persamaan (2.32).

$$z_{inj} = v_{0j} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ij} \quad (2.32)$$

Dimana

z_{inj} = nilai fungsi aktivifikasi untuk menghitung sinyal *output* di *hidden node j*.



- x_i = nilai di input node
 v_{ij} = nilai bobot yang menghubungkan input node i dengan *hidden* node j.
 v_{0j} = nilai bias yang menghubungkan bias node 1 dengan *hidden* node j.
 n = jumlah input node pada input layer.

Dan sinyal output dari *hidden* node j diberikan fungsi aktivasi sigmoid sebagaimana Pers. (2.33)

$$z_i = f(z_{inf}) = \frac{1}{1 + e^{-z_{inf}}} \quad (2.33)$$

dimana z_i adalah sinyal output dari *hidden* node j. Sedangkan tiap unit output ke-k (Y_{in}) yang ditunjukkan pada persamaan 2.34.

$$Y_{-in} = w_{0j} + \sum_{j=1}^p z_j w_{jk} \quad (2.34)$$

Dan nilai fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal output, sebagaimana persamaan 2.35

$$Y = f(Y_{-in}) = \frac{1}{1 + e^{-Y_{-in}}} \quad (2.35)$$

Selama proses training berlangsung, tiap unit output membandingkan nilai target (T_m) untuk suatu input pattern guna menghitung nilai parameter yang akan memperbaiki (update) bobot nilai tiap unit dalam masing-masing layer (Hertz et all., 1991). Node pada output layer memiliki nilai antara 0-1.

2.4.2 Performa Model

Performa model digunakan untuk mengukur ketepatan dari model. Dalam paper ini, performa model yang digunakan adalah untuk mengetahui tingkat korespondensi antara data aktual dengan hasil peramalan digunakan tolok ukur koefisien korelasi, dengan rumusan pada Persamaan (2.36).



$$R = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x \sum y}} \quad (2.35)$$

Dimana $x = X - \bar{X}$ adalah debit aktual, \bar{X} adalah rata-rata nilai X ,
 $y = Y - \bar{Y}$, Y adalah debit hasil
simulasi atau peramalan, \bar{Y} adalah rata-rata nilai Y . Nilai korelasi
dapat dilihat pada Tabel 2.7

Tabel 2.7 Nilai Koefisien Korelasi

Koefisien Korelasi (R^2)	Hubungan
1	Positif sempurna
$0,6 < R^2 < 1$	Langsung positif baik
$0 < R^2 < 0,6$	Langsung positif lemah
0	Tidak terdapat hubungan linear
$-0,6 < R^2 < 0$	Langsung negative lemah
$-1 < R^2 < -0,6$	Langsung negative kuat
-1	Negatif sempurna

Sumber : Soewarno, 1995

Nilai tengah kesalahan kuadrat (mean square error, MSE).
MSE merupakan suatu ukuran ketepatan model dengan
menguadratkan kesalahan untuk masing-masing point data dalam
sebuah susunan data dan kemudian memperoleh rata-rata atau
nilai tengah jumlah kuadrat tersebut. Rumusan untuk MSE
sebagaimana Persamaan (2.36)

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N e_i^2}{N} \quad (2.36)$$

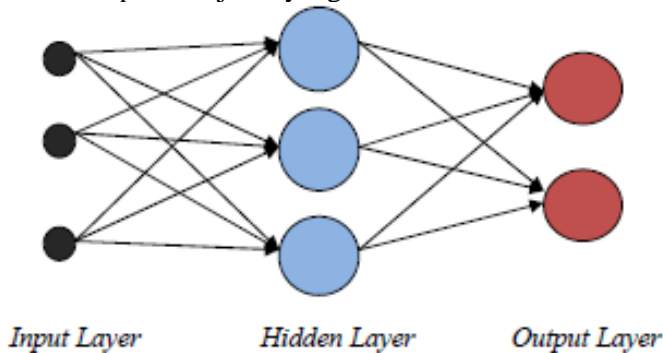
dimana y_i adalah nilai aktual data, \hat{y}_i adalah nilai hasil
peramalan, N adalah jumlah data pengamatan serta e_i adalah
kesalahan per-point data. Kemudian digunakan prosedur umum
menghitung kesalahan per-point data, dimana untuk deret berkala
rumusan yang diikuti adalah : data = pola + kesalahan untuk



memudahkan, kesalahan (error) ditulis dengan e , data dengan X dan pola data X . Sebagai tambahan, *subscript* i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) dicantumkan untuk menunjukkan point data ke- i , sehingga ditulis $e_i = X_i - \bar{X}$. Jika hanya ingin diketahui besaran kesalahan tanpa memperhatikan arah maka disebut dengan absolut error atau $e_i = |X_i - \bar{X}|$.

2.4.3 Jaringan syaraf tiruan lapisan lebih dari satu (*multi layer network*)

Jaringan syaraf tiruan dengan memiliki lebih dari 1 lapisan yang terletak diantara lapisan *input* dan lapisan *output* (memiliki lebih dari 1 *hidden layer*). Jaringan dengan banyak lapisan ini biasa digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang sulit atau pembelajaran yang rumit.



Gambar 2.12 Jaringan lapisan lebih dari *multi layer*
(Akbari, 2014)

- *Input Layer*
Merupakan data yang kita masukan untuk diproses dalam pembelajaran jaringan syaraf tiruan. Banyak jumlah *node* pada *input layer* tergantung banyak data *input* yang kita masukan kedalam jaringan.
- *Hidden Layer*
Banyaknya *node* pada lapisan ini bervariasi sesuai berapa banyak *hidden layer* yang digunakan. Semakin banyak *hidden*



layer yang digunakan maka akan semakin bagus juga hasil *output* yang dihasilkan, tetapi dengan banyaknya *hidden layer* yang digunakan maka waktu yang dibutuhkan untuk pembelajaran(*training*) akan menjadi lama (Mitchell,1997, P115).

- *Output Layer*

Banyaknya *node* pada lapisan *output* ini tergantung dari jaringan syaraf tiruan itu sendiri. Dimana sebelumnya kita telah memasukan *input* dan *output* pada saat melakukan pembelajaran(*training*).

Training

Proses pembelajaran suatu neural network terdiri dari proses *Forward*, *Backward*, dan *Update Bobot*. 1 kali training bila melawati 3 proses tersebut. Dimana proses ini akan dilakukan terus menerus namun, training harus dihentikan apabila kesalahan mulai naik. Ini berarti jaringan mulai mengambil sifat yang spesifik terjadi pada data training, dan bukan generalisasi dari sifat data (Siang, 2005). Berikut adalah tahapan training dengan menggunakan algoritma *backpropagation*

2.5 Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian sebelumnya mengenai material Cu-Sn yang telah dilakukan. Terdapat beberapa variasi variabel proses yang digunakan seperti komposisi fraksi berat, tekanan kompaksi, waktu sintering maupun waktu tahan sintering. Berikut daftar penelitian yang telah dilakukan ditampilkan dalam Tabel 2.8

Tabel 2.8 Kajian penelitian sebelumnya material *frangible*

Peneliti	Metode	Hasil
Kruachatturat, Thanomsilp, Wattanasiriwech (2009)	Komposisi 5, 10, 15% Sn. 2 fraksi serbuk Cu ukuran 87 μm dan 288 μm . T= 800, 850, 900°C	<ul style="list-style-type: none">• Kekerasan permukaan 54-119 HV• Kekuatan tekan 49-214 Mpa• Kekuatan tarik 23-109 MPa.



	h= 45 menit	<ul style="list-style-type: none">• Kekuatan terbaik diperoleh pada ukuran serbuk Cu 87 μm dengan temperatur sintering 900 °C.
Sofyan (1996)	Komposisi 5, 10, 15% Sn P= 200, 300, 400 MPa. T= 800, 850, 900°C h=45 menit	<ul style="list-style-type: none">• Kekuatan tekan 847,54 MPa – 1194,10 MPa.• Kekerasan 26,1 HV – 78,7 HV• Densitas 5,05 g/cm³ – 7,51 g/cm³• Porositas 0,44% - 33,85%
Agarwal, Sethi, Upadhyaya, Roy (2003)	Komposisi Cu-12% Sn. Metode premixed dan prealloyed. P= 150, 300, 450, 600 MPa T= 450, 775 , 830°C h= 30 menit.	<ul style="list-style-type: none">• Hasil premixed densitas relatif 68% - 71%• Temperatur 775 °C kekerasan sampel 22 HV-56 HV sedangkan kekerasan sampel prealloyed 27 HV – 45 HV
Firmansyah dan Widyastuti (2015)	Komposisi Cu-12% wt Sn. Metode wet mixing T=90°C selama 5 menit. Tekanan kompaksi 600 Mpa selama 5 menit. T=200, 300, 400, 500, 600°C h=30 menit.	<ul style="list-style-type: none">• Semakin tinggi Temperatur sinter nilai <i>Frangibility Factor FF</i> makin rendah.• Variasi temperatur sintering yang menghasilkan nilai <i>FF</i> paling besar adalah temperatur 200°C yaitu sebesar 9,34.
Anugraha dan Widyastuti (2014)	Komposisi 5, 10n, 15% Sn P= 300, 400, 500 MPa. T= 260°C h=30 menit	<ul style="list-style-type: none">• Densitas 7,19 – 7,44 g/cm³• Kekerasan 39 - 83 HRF• Kekuatan tekan 143,86 – 275,72 Mpa



Jhony dan Widyastuti (2014)	Komposisi Cu-10% Sn P= 600 MPa T= 300, 500, 700°C h= 30, 60, 90 menit	<ul style="list-style-type: none"> Densitas 7,19 – 7,94 g/cm³ Kekerasan 21,33 – 60,67 HRF Kekuatan tekan 204,04 – 796,25 Mpa
-----------------------------	--	--

Beberapa penelitian sebelumnya mengenai metode optimasi dalam desain eksperimen. Terdapat beberapa metode yang digunakan, namun yang ditampilkan disini hanya metode optimasi dengan menggunakan Metode Taguchi dan Neural Network. Berikut daftar penelitian yang telah dilakukan ditampilkan dalam Tabel 2.9

Tabel 2.9 Kajian penelitian sebelumnya mengenai Optimasi DoE

Peneliti	Metode	Hasil
Okuyucu (2007)	Neural Network Penggunaan metode NN untuk enganalisis dan mensimulasikan korelasi antara parameter FSW piring aluminium dan sifat mekanik	Kinerja model NN dapat dicapai, dan berdasarkan penelitian ini model dapat digunakan untuk menghitung sifat mekanik pelat Al yang dilas sebagai fungsi keceatan las dan TRS.
Chien (2011)	Taguchi Penggunaan grey based dari metode Taguchi untuk menentukan kondisi optimum pada proses operasi FSW (Friction Stir welding)	Nilai proses optimasi FSW untuk karakteristik multiple diprediksidengan menggunakan kombinasi faktor kontrol pada tabel L16 orthogonal array.
Pontes (2012)	Taguchi dan Neural Network Optimasi proses turning dengan menggunakan fungsi prediksi surface roughnes dengan neural network.	Model Neural Network terbukti mampu memprediksi kekasaran permukaan dengan cara yang lebih akurat, tepat dan terjangkau. Metodologi Taguchi yang digunakan memungkinkan untuk mengidentifikasi



		kombinasi parameter proses dengan mereduksi jumlah variable eksperimen yang harus dilakukan.
Kowalczyk (2014)	Taguchi dan Anova Parameter proses untuk menentukan kekasaran permukaan pada kepresisian Turning dari Titanium	Metode Taguchi digunakan untuk mengamati eksperimen, optimal machining pada level 2, <i>cutting</i> tool pada level 1 dan <i>cutting</i> speed pada level 4.
Sudha (2015)	Neural Network Menggunakan model Neural Network untuk memprediksi kecepatan produksi pada feed mill (<i>manufacturing</i>). Membandingkan model yang dihasilkan dari fungsi aktivasi log sigmoid dan tan sigmoid	Hasil perbandingan yang memberikan nilai paling sedikit RMSE dan nilai R yang paling tinggi adalah training dengan fungsi aktivasi dengan kombinasi log sigmoid-pure linear transfer.



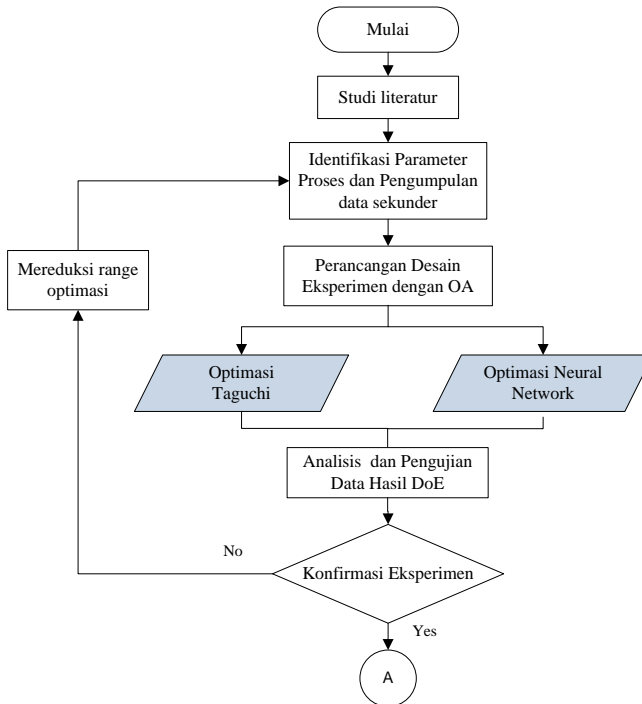
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

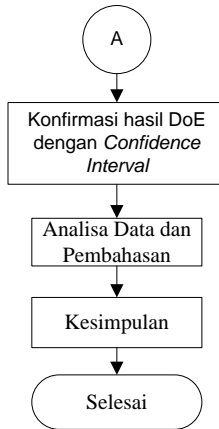


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan penelitian

Pada bab ini dijelaskan tahapan penelitian yang dilakukan dalam perancangan desain eksperimen untuk optimasi nilai *Frangibility Factor* (FF) material komposit dengan metode Taguchi dan *Neural Network*. Tahap-tahap penelitian ini dimulai dari tahapan identifikasi masalah pada parameter proses manufaktur material komposit, perancangan desain eksperimen, pengumpulan data sekunder, pengolahan data, konfirmasi eksperimen, analisa serta kesimpulan. Tahapan –tahapan tersebut akan dijelaskan dalam bentuk flowchart seperti Gambar 3.1 dibawah ini.

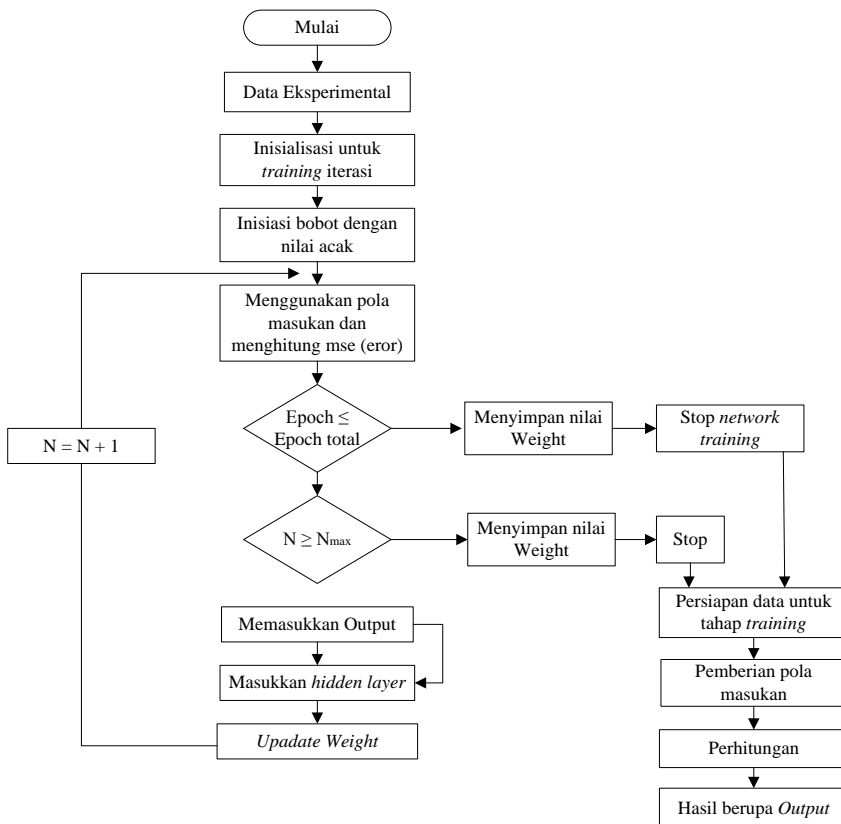




Gambar 3.1 Diagram Alir penelitian

Secara keseluruhan desain Eksperimen dalam rancangan penelitian ini menggunakan metode Taguchi, namun untuk mencari nilai optimasinya menggunakan dua metode yaitu optimasi dengan Taguchi dan Neural Network. Dalam proses optimasi dengan metode Taguchi akan menunjukkan level yang memberikan hasil variabel respon paling optimal dari setiap parameternya, meskipun kombinasi parameternya tidak masuk dalam desain *orthogonal array*. Sedangkan proses optimasi dengan menggunakan *Neural Network* akan memberikan hasil berupa pola yang kemudian pola ini digunakan untuk memprediksi nilai output (variabel respon) dari data input (parameter proses) yang dimasukkan. Data hasil optimasi kemudian dilakukan verifikasi melalui konfirmasi eksperimen.

Adapun tahapan proses pembentukan arsitekrut (model/pola) dan prediksi nilai respon dengan menggunakan *neural network* dijelaskan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Proses *Training Neural Network*

Dari hasil training model yang telah didapatkan, selanjutnya dimasukkan data input untuk dilakukan prediksi nilai variabel responnya.

3.2 Parameter Penelitian

Nilai-nilai parameter yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan dari teori yang sudah ada dan parameter pembaharuan dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.



3.2.1 **Parameter Respon**

Parameter respon merupakan parameter yang nilainya dipengaruhi oleh perlakuan yang diberikan sehingga bisa dikatakan nilai dari parameter respon bergantung pada parameter lain dan hasilnya didapatkan setelah melakukan eksperimen. Parameter respon dalam penelitian ini adalah:

- *Frangibility Factor* (FF)
Nilai *Frangibility Factor* dari material komposit diharapkan mendapatkan nilai yang sebesar mungkin

3.2.2 **Parameter Proses**

Parameter proses adalah parameter yang nilainya ditentukan dan divariasikan dengan tujuan untuk mendapatkan analisa pengaruh terhadap parameter respon. Beberapa parameter respon yang akan dianalisa dalam penelitian ini adalah:

- X_1 : Komposisi fraksi berat Sn (%wt Sn)
Jumlah fraksi berat Sn dalam pembuatan material komposit berpengaruh masa yang dihasilkan pada proyektil. Dimana kombinasi Cu-Sn harus memiliki *specific gravity* yang sesuai dengan standart proyektil di pasaran. Dalam penelitian ini digunakan 3 level dari fraksi berat Sn yaitu, 20, 30, 40 %wt Sn.
- X_2 : Tekanan kompaksi
Besarnya tekanan kompaksi berpengaruh terhadap nilai kekuatan, densitas, *shape definition* dan kontrol dimensi. Selain itu tekanan pada metal menyebabkan partikel serbuk secara mekanik terkunci dan melebur dalam keadaan dingin menjadi bentuk dan desain *final component*. Menurut ASM Vol.7 hal 63 dan 735 disebutkan bahwa tekanan kompaksi bisa dilakukan pada *range* 350-700 MPa, dan untuk proses kompaksi dengan sistem dingin (*cold compaction*) menggunakan tekanan sebesar 450 MPa. Dalam penelitian ini digunakan 3 level dari tekana kompaksi yaitu, 450, 600, 750 MPa.



- X_3 : Temperatur sintering
Temperatur sinter berpengaruh terhadap laju difusi, dimana energi harus cukup untuk menggerakkan atom-atom berdifusi. Selama sintering material akan mengalami penyusutan dan pertumbuhan butir, yang akan berpengaruh terhadap desain *final component*. Dimana German (1984) menyebutkan bahwa temperatur sinter terletak pada $2/3$ temperatur leleh serbuk. Dalam paten Benini (2001) bahwa proyektil yang memberikan hasil FF terbaik menggunakan temperatur sinter 260°C dan waktu tahan sinter selama 30 menit. Dalam penelitian ini digunakan 3 level dari Temperatur sinter yaitu, 400, 500, 600 $^{\circ}\text{C}$.

3.2.2 Parameter Konstan

Parameter konstan adalah parameter yang nilai dibuat sama dan tidak divariasikan. Dari penelitian ini parameter yang dibuat konstan adalah:

- Ukuran dan distribusi partikel serbuk
Ukuran butir akan berpengaruh terhadap porositas dan densitas. Semakin halus ukuran partikel, maka akan semakin besar green density.
- Bentuk Partikel Serbuk
Bentuk partikel serbuk akan mempengaruhi luas permukaan serbuk dan gesekan antara partikel serbuk. Hal ini akan mempengaruhi perpindahan serbuk ketika dilakukan penekanan pada saat proses kompaksi.
- Waktu tahan sintering
Waktu tahan sintering juga menentukan densifikasi, namun tidak berpengaruh secara signifikan bila dibandingkan dengan temperatur sintering.

3.3 Jenis dan Sumber Data

3.3.1 Jenis Penelitian

Dalam penelitian ini penulis menggunakan penelitian kuantitatif, karena data yang diperoleh nanti berupa angka. Dari



angka yang diperoleh akan dianalisis lebih lanjut dalam analisis data. Penelitian ini terdiri atas empat variabel, yaitu komposisi %wtSn, tekanan kompaksi, dan temperatur sintering sebagai variabel bebas (*independent*) dan nilai Frangibility Factor sebagai variabel terikat (*dependent*).

3.3.2 Sumber Data

Sumber data adalah segala sesuatu yang dapat memberikan informasi mengenai data. Dalam penelitian ini penulis menggunakan sumber data sekunder sebagai bahan yang akan untuk mencari nilai optimasi. Sumber data berupa nilai *Frangibility Factor* yang berasal dari hasil penelitian Tim Riset Material komposit yang belum terpublikasi.

3.4 Desain Eksperimen dengan Taguchi

Desain eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Taguchi dengan menggunakan *orthogonal array*(OA). Dimana kelebihan dari OA ini adalah kemampuan untuk mengevaluasi berapapa faktor dengan jumlah test yang minimum. Dalam membangun OA ada beberapa tahap dalam penyusunannya, langkah-langkah yang dilakukan dijelaskan sebagai berikut;

3.4.1 Mendefinisikan jumlah faktor dan levelnya

Dari jenis variabel yang telah dijelaskan disubab sebelumnya, selanjutnya menyusun variabel dengan nilai dan rentang level yang digunakan dalam melakukan proses optimasi. Berikut ditunjukkan pada Tabel 3.1 mengenai parameter proses, kode dan level yang digunakan.

Tabel 3.1 Kode parameter proses

Kode	Komposisi (% wt Sn)	Parameter Proses	
		Tekanan Kompaksi (MPa)	Temperatur Sinter (⁰ C)
A	20	450	400
B	30	600	500
C	40	500	600



3.4.2 Menentukan derajat kebebasan

Derajat kebebasan digunakan untuk menentukan jumlah minimal percobaan yang harus dilakukan. Berdasarkan Tabel 3.1 telah diketahui jumlah variabel dan level pada masing-masing kode, yang selanjutnya nilai ini akan digunakan untuk menentukan nilai derajat kebebasan dalam penelitian ini. Berikut aturan dalam menentukan nilai derajat kebebasan

Tabel 3.2 Jumlah Derajat Kebebasan (DoF)

No	Sistem	Jumlah level	Jumlah DoF
1	Grand Mean	1	1
2	Desain Parameter	Komposisi	3
		Kompaksi	3
		Sintering	3
		Jumlah	7

3.4.3 Memilih *orthogonal array*

Dari perhitungan derajat kebebasan jumlah percobaan minimal yang harus dilakukan adalah tujuh kali, namun dalam sistem *orthogonal array* tidak ada desain L7 yang dapat berkerja, sehingga harus dimodifikasi. Dimana jumlah percobaan harus lebih dari tujuh. Desain *orthogonal array* yang sesuai untuk 3 level dan 3 faktor adalah L9.

$$L_9(3^3)$$

Dimana terdapat

- 9 kali eksperimen
- 3 level
- 3 faktor

Setelah menentukan jenis OA yang digunakan, selanjutnya merancang desain eksperimen sesuai dengan OA L9. Berikut adalah rancangan tabel untuk desain eksperimen dengan menggunakan *orthogonal array* pada metode Taguchi



Tabel 3.3 Desain eksperimen *orthogonal array*

Nomor eksperimen	Parameter proses			Nilai FF	Rasio SN
	Komposisi % wt Sn	Tekanan Kompaksi	Temperatur Sintering		
1	1	1	1		
2	1	2	2		
3	1	3	3		
4	2	1	2		
5	2	2	3		
6	2	3	1		
7	3	1	3		
8	3	2	1		
9	3	3	2		

3.4.4 Analisis dan optimasi dengan metode Taguchi

Dengan metode Taguchi ada dua metode analisis yang dilakukan, yaitu *Analysis of Variance* (ANOVA) terhadap mean atau hasil rata-rata dan ANOVA terhadap *Signal to Noise Ratio*

Dalam metode Taguchi untuk menilai sebuah karakteristik kualitas terdapat beberapa kategori. Dalam penelitian ini karakter respon yang diharapkan adalah *Higher the Better* yaitu memiliki nilai FF yang semaksimum mungkin. Dengan mengunakan karakteristik kualitas *Higher the better*, maka menggunakan persamaan 3.1 dan 3.2,

$$M.S.D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{y_i} \right)^2 \quad (3.1)$$

$$\eta = -10. \text{Log} (M.S.D.) \quad (3.2)$$

Keterangan :

η : S/N ratio

N : jumlah pengulangan dari suatu percobaan

y : nilai FF



Perhitungan ANOVA untuk nilai rata-rata

Berikut langkah-langkah perhitungan ANOVA nilai rata-rata:

1. Menghitung nilai rata-rata semua eksperimen, dengan persamaan 3.3,

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} \quad (3.3)$$

2. Menghitung nilai rata-rata setiap level faktor, dengan persamaan 3.4,

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}} \quad (3.4)$$

3. Membuat *response tabel* dan *response graph*

4. Menghitung nilai *total sum of square*, dengan persamaan 3.5,

$$SS_{total} = \sum Y^2 \quad (3.5)$$

5. Menghitung nilai *sum of squared due to mean*, dengan persamaan 3.6,

$$mean (S_m) = n\bar{y}^2 \quad (3.6)$$

6. Menghitung *sum of square due to factor* dengan persamaan 3.7,

$$SS_A = n_{A1} * \bar{A1}^2 + n_{A2} * \bar{A2}^2 + n_{A3} * \bar{A3}^2 - SS_m \quad (3.7)$$

7. Menghitung nilai *sum of square due to error*, dengan persamaan 3.8,

$$SS_e = SS_{total} - SS_m - (SS_A + SS_B + SS_C + SS_D) \quad (3.8)$$

8. Menghitung derajat kebebasan, dengan persamaan 3.9,

$$DF_A = \text{jumlah level} - 1 \quad (3.9)$$

9. Menghitung nilai *mean sum of square*, dengan persamaan 3.10,



$$MS_A = \frac{SS_A}{DF_A} \quad (3.10)$$

10. Menghitung nilai *F ratio*, dengan persamaan 3.11,

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_e} \quad (3.11)$$

11. Menghitung *pure sum of square*, dengan persamaan 3.12,

$$SS'_A = SS_A - (DF_A * M_e) \quad (3.12)$$

12. Menghitung *percent contribution*, dengan persamaan 3.13,

$$\rho_A = \frac{SS'_A}{SS_t} \quad (3.13)$$

Hasil analisis variansi untuk membuktikan adanya perbedaan perlakuan dan pengaruh faktor dalam eksperimen. Pembuktian ini dilakukan dengan tes hipotesis F atau pengujian regresi serentak. Dimana hipotesis yang digunakan

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu}; j=1,2,\dots,k$$

Statistik uji yang digunakan sesuai persamaan 3.14:

$$F_{hitung} = MS_R / MS_E = \frac{SS_R / k}{SS_E / (n - 1 - k)} \quad (3.14)$$

H_0 ditolak apabila $F_{hitung} > F_{tabel}(\alpha; -k-1)$ atau $p_{value} < \alpha$ yang berarti secara statistik hubungan parameter-parameter x memberikan pengaruh signifikan terhadap model. (Amirul, 2015)



3.3.4 Proses Optimasi

Dengan menentukan kategori rasio S/N kedalam higher the better untuk parameter respon FF dan smaller the better untuk parameter respon modulus elastisitas. Maka hasil S/N dan nilai mean dari parameter respon akan dikelompokkan untuk dicari nilai optimumnya.

Tabel 3.4 Respon nilai Mean untuk nilai FF

Level	A Komposisi % wt Sn	B Tekanan Kompaksi	C Temperatures Sintering
1	X	X	X
2	X	X	X
3	X	X	X
Delta	$X_{\max} - X_{\min}$	$X_{\max} - X_{\min}$	$X_{\max} - X_{\min}$
Rank			

*Penentuan nilai optimum dari parameter proses yang dihasilkan

3.5 Proses pembelajaran dan Optimasi pada Neural Network

Pembuatan arsitek dan prediksi nilai optimasi dengan *Software* Matlab R2013a dengan tools *Neural Network*. Langkah-langkah dalam melakukan penelitian dijelaskan sebagai berikut;

3.5.1 Preprocessing/ Normalisasi

Pada proses perkiraan menggunakan *Backpropagation Neural Network*, sebelum dilakukan pelatihan, data *input* dan target *output* harus dinormalisasi terlebih dahulu. Normalisasi adalah penskalaan terhadap nilai-nilai masuk ke dalam suatu range tertentu. Hal ini dilakukan agar nilai *input* dan target *output* sesuai dengan range dari fungsi aktivasi yang digunakan dalam jaringan. Data *input* dan target *output* dinormalisasi dengan cara membawa data ke bentuk normal yang memiliki mean = 0 dan standar deviasi =1, berdasarkan persamaan 3.15:



$$X_i = \frac{X_{real} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (3.15)$$

Dengan;

X_i : nilai setelah normalisasi

X_{real} : nilai yang akan dinormalisasi

X_{min} : nilai respon minimum

X_{max} : nilai respon optimum

3.5.2 Pemilihan Variabel Input

Proses pemilihan variabel *input* dan *output* ini dilakukan dengan menggunakan eliminasi *backward* dan fungsi biaya *mean square error* (MSE) serta *mean absolute percentage error* (MAPE). Pemilihan variabel dilakukan dengan mengeliminasi variabel yang tidak berguna dan mempertahankan variabel-variabel yang memberikan nilai *korelasi* yang cukup signifikan terhadap variabel *output*.

3.5.3 Perancangan Struktur Jaringan yang Optimum

Langkah selanjutnya adalah menentukan jumlah lapisan *input*, lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan lapisan *output*. Jumlah lapisan input berdasarkan pada banyaknya data yang mempengaruhi perkiraan. Sedangkan banyaknya lapisan output adalah banyaknya hasil output perkiraan yang dicari.

3.5.4 Pemilihan Koefisien Pemahaman (*Learning Rate*) dan *Momentum*

Koefisien pemahaman pada *neural network* adalah *learning rate* atau laju pembelajaran. Besarnya *learning rate* akan berimplikasi pada besarnya langkah pembelajaran. *Momentum* dalam *neural network* adalah perubahan bobot yang didasarkan pada arah *gradient* pola terakhir dan pola sebelumnya. Pada pembangunan jaringan *Backpropagation* yang akan digunakan dalam perkiraan, hasil keputusan yang kurang memuaskan dapat diperbaiki dengan menggunakan *learning rate* dan *momentum*.



secara trial and *error* untuk mendapatkan nilai bobot yang optimum agar MSE dan MAPE jaringan dapat diperbaiki.

3.5.5 Pemilihan Struktur Jaringan yang Optimum dan Penggunaannya untuk Prediksi

Langkah-langkah pemilihan jaringan yang optimum dijelaskan sebagai berikut:

- i. Proses pelatihan dilakukan terhadap data pelatihan dengan adanya simpul tersembunyi berbeda akan yang akan diperoleh dari nilai output. Nilai MSE dan MAPE dihitung. Jaringan yang memiliki nilai MSE dan MAPE terendah dipilih sebagai jaringan yang optimum dan digunakan untuk perkiraan.
- ii. Setelah proses pelatihan dilakukan proses pengujian dengan struktur jaringan yang memiliki bilangan simpul tersembunyi berbeda yang telah dilatih akan diperoleh nilai *output* jaringan. Nilai MSE dan MAPE dari masing-masing struktur jaringan dihitung. Proses pengujian digunakan untuk menguji prestasi pelatihan dan sebagai pendukung bahwa jaringan terpilih sebagai jaringan yang tepat untuk model peramakan.
- iii. Proses validasi dilakukan dengan menggunakan jaringan terpilih terhadap data validasi untuk melihat prestasi ramalannya.

3.5.6 Postprosesing/ Denormalisasi

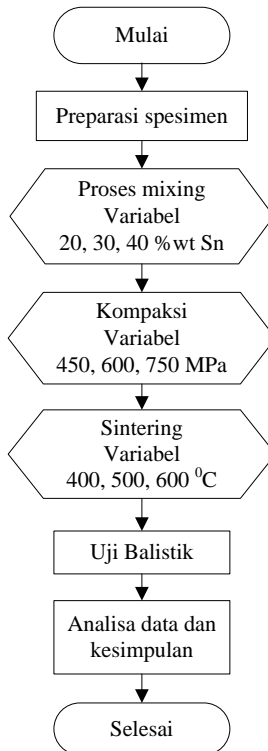
Setelah proses pelatihan dan pengujian selesai, untuk mengembalikan nilai ternormalisasi *output* jaringan ke nilai yang sebenarnya, dilakukan proses denormalisasi atau postprocessing.



3.6 Pelaksanaan Eksperimen Konfirmasi

3.6.1 Diagram alir Eksperimen

Data yang digunakan dalam melakukan perhitungan numeric ini berdasarkan dari data primer. Berikut tahapan-tahapan dalam melakukan eksperimen dijelaskan dalam Gambar 3.3



Gambar 3.3 Diagram Alir proses eksperimen



3.6.2 Alat dan Bahan

A. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk Cu sebagai bulk of material dan serbuk Sn sebagai *minor component*.

1. Serbuk Cu

Serbuk Cu dengan kemurnian 99% produk Sigma-Aldrich dengan spesifikasi sebagai berikut:

Ar	: 63,55 g/mol
Densitas	: 8,96 g/cm ³
Temperatur melting	: 1083°C
Ukuran serbuk	: <63 µm

2. Serbuk Sn

Serbuk Sn dengan kemurnian 99,8% produk Sigma-Aldrich dengan spesifikasi sebagai berikut:

Ar	: 118,71 g/mol
Densitas	: 7,3 g/cm ³
Temperatur melting	: 232°C
Ukuran serbuk	: <45 µm

3. Pelumas

Pelumas digunakan untuk mengurangi gesekan yang terjadi antar serbuk maupun antara serbuk dengan dinding dies cetakan saat dilakukan kompaksi. Pelumas yang digunakan adalah Zinc Stearat produk Sigma-Aldrich dengan spesifikasi sebagai berikut:

Densitas	: 1,09 g/cm ³
Temperatur melting	: 130°C

B. Alat

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



1. Spatula
Untuk mengambil serbuk Cu dan Sn.
2. *Beaker glass*
Digunakan sebagai tempat pencampuran serbuk dengan menggunakan *magnetic stirrer*.
3. Masker dan Sarung tangan
Digunakan sebagai alat keamanan untuk mengantisipasi pencemaran serbuk.
4. *Dies*
Sebagai cetakan untuk menghasilkan bentuk pellet saat proses kompaksi.
5. *Hot plate stirrer* dan *Magnetic stirrer*
Digunakan pada saat proses pencampuran serbuk Cu dan Sn.
6. Jangka sorong
Digunakan untuk mengukur dimensi dari komposit Cu-Sn setelah dikompaksi.
7. *Combustion Boat*
Digunakan untuk wadah spesimen ketika proses sintering.
9. Timbangan digital
Digunakan untuk menimbang massa serbuk Cu dan Sn serta sampel setelah proses sintering.
10. Horizontal furnace
Furnace yang digunakan untuk pemanasan pada proses sintering
11. Alat kompaksi
Alat kompaksi Carver dengan menggunakan tekanan 600 MPa. Alat ini digunakan untuk mengkompaksi serbuk Cu dan Sn yang telah dicampur (mixing) sebelum dilakukan sintering



3.6.3 Preparasi Bahan

Sebelum melakukan proses penelitian maka hal yang harus dilakukan adalah preparasi bahan dengan tahapan sebagai berikut:

a. Proses Mixing

Proses pertama yang dilakukan dalam pembuatan material komposit adalah proses pencampuran dari serbuk Cu dan Sn. Proses pencampuran bertujuan untuk menghomogenkan persebaran partikel Cu dan Sn. Jenis sampel dalam penelitian ini terdapat dua jenis, yaitu sampel berbentuk pellet untuk uji kompresi, dan sampel berbentuk proyektil untuk uji balistik. Dengan perkiraan dimensi seperti yang tertera pada Tabel 3.5. untuk perhitungan volume ditampilkan pada lampiran.

Tabel 3.5 Dimensi Sampel pengujian

Specimen	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Volume (cm ³)
Pelet	10	10	0,785
Proyektil (dengan nose)	9,2	15,7	739,30

Nilai dimensi pada masing-masing sampel ini selanjutnya akan digunakan untuk menentukan komposisi masa masing-masing serbuk sesuai dengan perhitungan *rule of mixture*. Dalam proses mixing ini terdapat variasi jumlah penambahan %wt Sn. Jumlah massa Cu-Sn dan Zinc Stearat yang dicampurkan dalam setiap proyektil dan pellet ditampilkan pada Tabel 3.6. Untuk perhitungannya ditampilkan pada lampiran.

Tabel 3.6 Komposisi serbuk untuk satu sampel

Serbuk	Massa 20% Sn (gr)	
	1 proyektil	1 pelet
Tembaga	4,883	5,616
Timah	0,909	0,9482
Zincstearat	0,003	0,003



Proses pencampuran dilakukan dengan metode *batch*, dalam sekali batch digunakan untuk satu perlakuan sejumlah 8 proyektil dan 3 pelet.

Proses pencampuran menggunakan *hot plate magnetic stirrer*, dengan metode *wet mixing* yaitu dengan menambahkan pelarut polar *ethanol* hal ini dilakukan agar mencegah terjadinya oksidasi. Etanol yang ditambahkan sebanyak 1 ml untuk 1 proyektil maupun pellet. Proses pencampuran dilakukan ditutup dengan aluminium foil kemudian diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 90 menit, pada temperatur 90 °C dan kecepatan 250 rpm hingga serbuk memiliki tekstur yang sama saat masih kering. kecepatan 350 rpm,

b. Proses Kompaksi

Tahapan setelah melakukan pencampuran serbuk adalah proses kompaksi. Proses kompaksi bertujuan untuk membentuk serbuk menjadi padatan produk yang ingin dibuat. Proses kompaksi menggunakan *dies* atau cetakan yang berbeda antara specimen pellet dan proyektil. Dalam proses kompaksi dilakukan juga variasi nilai tekanan yang diberikan. Nilai tekanan yang diterima *punch* atas pada bagian *head* tidak lah sama dengan sisi *punch* atas yang bersentuhan dengan permukaan serbuk. Sehingga perlu dilakuakn konversi perhitungan dengan membuat nilai *force* yang diterima sama. Variasi nilai tekanan yang diberikan ditampilkan pada Tabel 3.7. Untuk perolehan tekanan yang digunakan, perhitungannya ditampilkan pada lampiran.

Tabel 3.7 Perbandingan besar tekanan kompaksi yang diberikan pada sampel proyektil dan pellet

Sampel	Tekanan (MPa)	Force (N)	Pressure Gauge (MPa)	Pressure Gauge (Psi)
Proyektil	600	23.288,4	18,36	2.500
Pellet	800	34.400	29,67	4.500



Sebelum serbuk komposit dimasukkan ke dalam dies, permukaan *dies* bagian dalam diolesi dengan *lubricant zink stearate* dengan tujuan untuk memudahkan proses pengambilan proyektil. Pada saat proses kompaksi dilakukan *dwelling time* selama 10 menit.

c. Proses Sintering

Setelah dilakukan kompaksi sampel selanjutnya dilakukan uji densitas untuk memperoleh nilai green density yang selanjutnya akan dibahas pada Sub Bab 4.1.5. Proses selanjutnya adalah sintering, tujuan dari proses ini adalah untuk memadatkan dan menguatkan ikatan antar partikel. Temperatur sinter yang digunakan adalah 250 °C dengan waktu tahan atau *dwelling time* nya selama 30 menit. Proses sintering dilakukan pada lingkungan inert yaitu dengan mengalir gas argon 1 L/ menit. Proses pendinginan menggunakan metode anil yaitu pendinginan didalam furnace.

3.6.4 Pengujian

1. Pengujian Densitas Sinter

Pengujian densitas sinter dilakukan dengan teknik Archimedes.

$$\rho = \frac{m}{v} \tag{3.16}$$

$$V = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot t \tag{3.17}$$

$$\rho_s = \frac{W_1 \cdot \rho_w}{W_2 - (W_3 - W_w)} \tag{3.18}$$

(Sumber: German, 1996)

Dimana:

ρ_s = sinter density (g/cm³)

ρ_w = densitas air (g/cm³)



m = massa (g)
 v = Volum (cm^3)
 d = Diameter (cm)
 t = tinggi (cm)
 W_1 = massa kering(g)
 W_2 = massa basah (g)
 W_3 = massa didalam air(g)
 W_w = massa benang (g)

2. Pengujian Tekan (*Compression Test*)

Pengujian tekan merupakan pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan sifat mekanik, pengujian ini dilakukan sebagai alternatif dari uji tarik. Proses pengujian dilakukan dengan memberikan beban untuk penekanan pada sampel hingga terjadi fracture pada material. Hasil dari pengujian tekan adalah didapatkan grafik sifat mekanik yang didapatkan meliputi kekuatan tekan dan modulus elastisitas. (ASM Metals Handbook Volume 8 Mechanical Testing and Evaluation, 2000)

Langkah pengujian tekan yang dilakukan sebagai berikut :

1. Melakukan preparasi spesimen sehingga permukaan sampel pada bagian atas dan bawah yang mendapatkan kontak dengan punch rata
2. Pengukuran dimensi sampel yaitu diameter dan tinggi dengan menggunakan jangka sorong untuk mendapatkan luas permukaan yang dikenai beban.
3. Meletakkan sampel pada punch dengan posisi punch atas hampir menyentuh sampel
4. Memilih laju beban pada mesin uji kemudian memberikan beban secara kontinu dengan kenaikan beban laju pembebanan tertentu. Mengamati defleksi yang terjadi pada sampel
5. Menghentikan pengujian ketika sampel telah berdeformasi plastis

3. Pengujian Balistik



Pengujian balistik harus dilakukan untuk mengetahui kualitas dan keamanan objek balistik. Objek pengujian balistik antara lain proyektil, kelongsong, mesin tembak otomatis (*fixed barrel*), *handgun*, dan sasaran tembak. Dalam penelitian ini dimensi proyektil yang diizinkan adalah 9.02-9.04 mm yang mengacu pada model, spesifikasi jenis proyektil ini ditunjukkan pada lampiran. Namun dimensi sampel proyektil yang dihasilkan dalam eksperimen ini memiliki diameter 9.07-9.18 mm. Dimensi ini diperoleh karena diameter lubang pada dies 9.2 mm dan terjadi *shrinkage* saat proses sintering, sehingga perlu dilakukan pengurangan diameter proyektil. Untuk tinggi proyektil dalam penelitian ini adalah 15.2-16.8 mm, variasi ini terjadi karena pengaruh besarnya tekanan kompaksi. Pengurangan diameter ini dilakukan dengan proses bubut.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, masa propelan yang dimasukkan kedalam selongsong dengan spesifikasi material komposit ITS adalah 0,290-0,295 gr. Masa propelan yang dimasukkan kedalam selongsong berfungsi untuk menentukan kecepatan awal proyektil saat keluar dari laras. Kecepatan awal yang diharapkan adalah ± 380 m/s. Jumlah sampel proyektil untuk uji balistik adalah 16 buah, sebanyak 10 sampel untuk uji kecepatan yang dilakukan dilorong 200. Proses penembakan peluru untuk uji kecepatan dilakukan dengan alat tembak otomatis *fixed barrel*. Sedangkan 6 proyektil untuk uji fragmen. Dalam pengujian fragmen menggunakan alat *handgun* kaliber 9 mm dan dilakukan pada lorong 25m. Pengujian fragmen dilakukan dengan cara menembakkan proyektil ke arah target berupa plat baja tebal 10 mm.

3.7 Verifikasi

Tahap ini dilakukan dengan melakukan eksperimen konfirmasi dan perhitungan *confidence interval*. Langkah-langkah tahap verifikasi akan dijelaskan dalam uraian sebagai berikut:

1. Pelaksanaan eksperimen konfirmasi, eksperimen konfirmasi dilakukan untuk membuktikan performansi yang diramalkan

2. Perhitungan *confidence interval*, *confidence interval* merupakan perkiraan antara dua nilai statistik dengan tingkat probabilitas tertentu dimana nilai sebenarnya berada di dalamnya. Pada tahap ini akan dijelaskan perbandingan perhitungan *confidence interval* untuk hasil estimasi nilai karakteristik kualitas dengan perhitungan *confidence interval* untuk rata-rata hasil eksperimen konfirmasi.

Pada penelitian ini untuk melakukan pengolahan data menggunakan dua *Software*, yaitu Minitab 16 dan MATLAB R2013a Spesifikasi dari masing-masing *software* tersebut sebagai berikut:

- Product licensed to	: ITS
- Products installed	: Minitab® 16.1.1
- Installed Components	: Language Pack - English: 16.1.1.0
Licensing	: 16.1.1.0
Core	: 16.1.1.0

```
- Version : 7.10.0.499 (R2013a)
- License Number : 161051
- 32-bit (win32) - February 5, 2010
```



Software Minitab 16 digunakan untuk melakukan analisa Methodology Taguchi sedangkan MATLAB R2013a digunakan untuk melakukan optimasi parameter dengan metode. *neural network*.



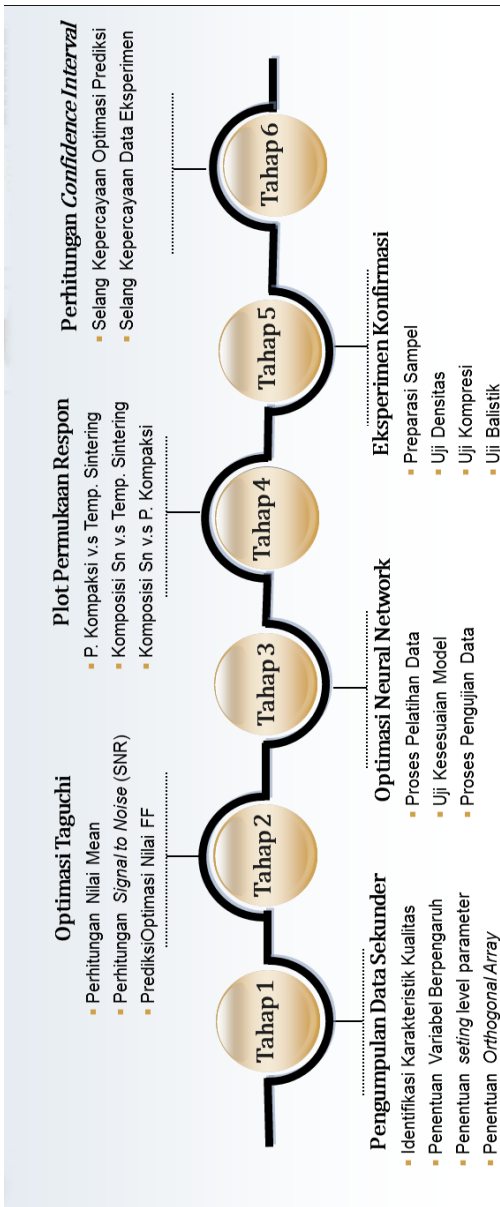
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi nilai *Frangibility Factor* (FF) berdasarkan desain eksperimen. Tahapan dalam melakukan penelitian ini terdapat enam tahapan utama, pertama pengumpulan data sekunder dengan aktifitas identifikasi karakteristik kualitas, penentuan variabel berpengaruh, *setting level parameter* dan menentuka jenis *orthogonal Array*. Tahap kedua optimasi dengan metode Taguchi, dengan aktifitas melakukan perhitungan nilai mean, perhitungan *Signal to Noise Ratio*. Tahap ketiga optimasi dengan metode Neural Network, dengan aktifitas proses pembelajaran dengan data awal, uji kesesuaian model dan proses pengujian data. Tahap keempat membuat plot permukaan respon untuk masing-masing dua variabel dan membuat kosntan satu variabel yang lain, terdapat tiga plot permukaan respon untuk tekanan kompaksi v.s temperatur *sintering*, komposisi Sn v.s temperatur *sintering* dan komposisi Sn v.s tekanan kompaksi. Tahap yang kelima adalah melakukan eksperimen konfirmasi dengan aktifitas membuat sampel pengujian, melakukan uji densitas, uji kompresi dan uji balistik. Tahap keenam adalah melakukan perhitungan *Confidence Interval* untuk nilai hasil optimasi dengan nilai prediksi. Taguchi, proses pembelajaran dan pengujian dengan metode Neural Network melakukan analisis pengaruh reson menggunakan plot permukaan, melakukan eksperimen konfirmasi, menganalisis hasil eksperimen dengan *Confidence Interval* dan pembahasan pengaruh parameter respon terhadap perilaku material peluru frangible. Untuk lebih jelaskan akan ditunjukkan pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Milestone Penelitian



4. 1 Pengumpulan Data Sekunder

Data eksperimen yang digunakan merupakan data sekunder dari penelitian tim riset LPDP laboratorium Fisika Material jurusan teknik Material dan Metalurgi FTI ITS. Ada empat tahap dalam pengumpulan data yaitu identifikasi karakteristik kualitas, penentuan faktor yang berpengaruh, penentuan setting level faktor, dan penentuan *orthogonal array*. Pejelasan setiap tahapan akan dijelaskan selanjutnya.

4.1.1 Identifikasi Karakteristik Kualitas

Karakteristik kualitas digunakan untuk mengekspresikan sejauh mana sebuah produk menjalankan fungsinya. Dalam penelitian ini kualitas yang diukur adalah nilai *Frangibility Factor* peluru dengan karakteristik yang digunakan adalah *Higher the better*.

Data sekunder yang digunakan merupakan hasil perhitungan dari beberapa pengukuran eksperimen. Sistem pengukuran eksperimen yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut:

1. Obyek pengukuran adalah proyektil frangible ITS dengan proses manufaktur Metalurgi serbuk.
2. Terdapat pengukuran massa, densitas, kompresi dan balistik
3. Tempat pengukuran massa, densitas dan kompresi dilakukan di jurusan Teknik Material dan Metalurgi yang disesuaikan dengan standart ASTM
4. Tempat pengukuran balistik dilakukan di PT. Pindad yang disesuaikan standart SOP PT. Pindad
5. Alat yang digunakan untuk pengujian masa dan densitas adalah neraca Digital, pengukukuran kompresi adalah *universal testing* dan pengukuran balistik adalah *fixed barrel* serta sensor kecepatan.

4.1.2 Penentuan Variabel Berpengaruh

Pada tahap ini diidentifikasi variabel-variabel yang berpengaruh terhadap nilai *Frangibility Factor (FF)* kususnya



pengaruh terhadap proses manufacture metalurgi serbuk melalui studi literatur. variabel-variabel yang diduga berpengaruh terhadap nilai FF ditunjukkan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Variabel-variabel yang berpengaruh terhadap nilai FF

No	Nama Variabel	Referensi
1	Komposisi % wtSn	Kruachatturat, 2009
2	Ukuran Partikel Serbuk	Anugraha, 2014
3	Tekanan Kompaksi	German, 2009
4	Distribusi densitas	Agarwal, 2003
5	Temperatur Sintering	Anugraha, 2014
6	Waktu tahan sintering	German, 209
7	Kecepatan kenaikan Temperatur	Benini, 2001
8	Kecepatan pendinginan	Anugraha, 2014
		Keraghel, 2011
		Jhony, 2014
		German, 2009
		German, 2009

Sejumlah variabel yang telah disebutkan diatas kemudian dipilih beberapa variabel yang berpengaruh cukup signifikan. Pemilihan variabel-variabel ini selanjutnya akan dijadikan sebagai parameter proses dalam perancangan desain eksperimen yang ditampilkan pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Variabel yang berpengaruh terhadap nilai FF

Jenis Faktor	Kode	Nama Variabel
Terkendali	A	Komposisi % wt Sn
	B	Tekanan Kompaksi
	C	Temperatur Sintering

Dari Tabel 4.2 mengenai parameter proses penjelasan selanjutnya akan dijelaskan sebagai berikut;



1. Komposisi %wt Sn.

Jumlah penambahan Sn berpengaruh terhadap jumlah fasa intermetalik yang terbentuk. Semakin banyak jumlah Sn maka semakin banyak pula fasa intermetalik yang terbentuk. Fasa intermetalik yang terbentuk berperan sebagai pengikat yang *brittle* antar partikel Cu yang tidak berikatan (Banovic, 2007).

2. Tekanan Kompaksi

Besarnya tekanan kompaksi menyebabkan deformasi local antar kontak yang memberikan efek *stain hardening* dan memungkinkan untuk terjadi kontak baru membentuk jarak antar partikel yang semakin dekat sehingga jumlah porositasnya berkurang. Zona kontak antar interpartikel akan terlihat gepeng. Oleh karena itu kompaksi berperan dalam meningkatkan kekuatan, densitas, bentuk dan kontrol dimensi (German, 1984)

3. Temperatur Sintering

Efek dari temperatur sintering secara umum adalah berkontribusi terhadap pergerakan atom membentuk formasi untuk menyatukan ikatan antar partikel. Material akan meningkat kekuatannya dan sifat yang lain (German, 1984)

4.1.3 Penentuan *Setting Level* Parameter

Penentuan nilai *setting level* didasarkan pada studi literatur dan pengalaman hasil eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya dalam Tim Riset Peluru Frangible yang belum terpublikasi. Nilai *setting* parameter yang ditentukan untuk masing-masing faktor terkendali ditunjukkan pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Kombinasi Parameter proses dan level

Faktor	Diskripsi	Unit	Level 1	Level 2	Level 3
A	Komposisi %wt Sn	gr	20	30	40
B	Tekanan Kompaksi	Mpa	450	600	750
C	Temperatur Sintering	°C	400	500	600



Pemilihan level yang digunakan pada Tabel 4.3 selanjutnya akan dijelaskan sebagai berikut;

1. Komposisi % wt Sn dengan variasi 20,30,40%
Pada penelitian yang telah dilakukan Anugraha, 2014 Tim Riset Peluru Frangible menggunakan variasi ini diharapkan mendapatkan nilai densitas dan kekerasan maksimum serta porositas yang rendah.
2. Tekanan Kompaksi dengan variasi 450,600,750 MPa
Pada penelitian yang telah dilakukan Anugraha, 2014 Tim Riset Peluru Frangible menggunakan variasi ini diharapkan mendapatkan nilai modulus kompresi yang mendekati nilai modulus peluru frangible komersial. Dengan menurunnya nilai modulus kompresi diharapkan nilai *Frangibility Factor*(FF) meningkat, karena nilai modulus kompresi memberikan prosentasi paling besar dalam perhitungan FF.
3. Temperatur Sintering dengan variasi 400,500,600 °C.
Menurut Liu at all, 2012 pada temperatur sinter 260-300 mulai terbentuk fasa intermetalik Cu_3Sn dan Cu_6Sn_5 yang berfungsi sebagai penyumbang sifat brittle pada peluru frangible. Diharapkan dengan variasi level temperatur ini mampu terbentuk komposisi fasa intermetalik dengan nilai FF optimum.

4.1.4 Penentuan Orthogonal Array

Strategi pada desain eksperimen dengan metode Taguchi adalah matriks eksperimennya yaitu menggunakan *Orthogonal Array* (OA). Metode ini merupakan jenis *fractional factor* design dengan jumlah informasi efek parameter yang maksimum dan jumlah eksperimen yang minimum. Dalam menentukan jenis OA yang akan digunakan, yaitu dengan menghitung nilai *Degree of Freedom* (DoF).

Dalam penelitian ini menggunakan tiga faktor terkendali, dimana masing-masing variabel memiliki 3 level. Setelah



mengetahui faktor dan level yang akan digunakan dalam desain eksperimen Taguchi adalah menentukan nilai *Degree of Freedom* (DoF). Pemilihan *Orthogona Array* (OA) fokus pada total DoF pada parameter proses. Perhitungan nilai DoF ditampilkan pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Perhitungan nilai *Degree of Freedom* (DoF)

No	Sistem	Jumlah level	Jumlah DoF
1	Grand Mean	1	1
	Komposisi % wt Sn	3	2
2	Desain Parameter	3	2
	Tekanan Kompaksi Temperatur Sintering	3	2
Jumlah			7

Total dari DoF berdasarkan tiga parameter proses adalah 7. Berdasarkan metode Taguchi, nilai DoF harus lebih besar atau minimal sama dengan parameter proses (Sreenivasulu, 2013). Dengan menggunakan jenis *Orthogona Array* L9 pada Taguchi, jumlah data eksperimen yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian, efek yang paling utama adalah jumlah nya berkurang hingga berjumlah 9.

Ketika kita menggunakan desain eksperimen *full factorial* kita membutuhkan data eksperimen sebanyak $3^3=27$ data penelitian. $L_9 (3^3)$ *orthogonal array* pada desain Taguchi menunjukkan bahwa jumlah data eksperimen yang dibutuhkan adalah 9 untuk 3 level dan 3 parameter proses. Rancangan desain eksperimen untuk $L_9 (3^3)$ ditampilkan pada Tabel 4.5



Tabel 4.5 Desain eksperimen $L_9 (3^3)$ *orthogonal array*

Nomor Eksperimen	Parameter proses			Jumlah pengulangan data Respon				
	Komposisi % wt Sn	Tekanan Kompaksi	Temperatur Sintering	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
1	20	450	400					
2	20	600	500					
3	20	750	600					
4	30	450	500					
5	30	600	600					
6	30	750	400					
7	40	450	600					
8	40	600	400					
9	40	750	500					

Dari Tabel 4.5 bisa diketahui bahwa jumlah kombinasi parameter proses yang digunakan adalah 9 perlakuan, terdapat tiga variabel yang digunakan sebagai parameter proses dan tiga level pada masing-masing parameter proses dengan jumlah pengulangan data sebanyak lima kali.

Data eksperimen yang digunakan merupakan data sekunder dari penelitian Tim Riset LPDP tahun 2016. Data yang didapat berupa nilai FF dengan jumlah sampel 43. Dengan 9×5 data pengulangan seharusnya terdapat 45 data FF namun dalam pelaksanaan eksperimennya terdapat dua data pada nomor eksperimen satu yang bermasalah dengan sampel. Data hasil eksperimen yang akan digunakan untuk proses optimasi di tunjukkan pada Tabel 4.6



Tabel 4.6 Nilai FF hasil eksperimen tim riset peluru Frangible

Nomor Eksperimen	Pengulangan Ke				
	1	2	3	4	5
1	17,5464	-	-	19,1899	19,1049
2	18,6875	19,0147	19,2000	20,0924	19,0795
3	16,8419	16,4011	18,3092	17,7186	18,0726
4	18,1937	20,0445	18,0420	18,4423	19,4639
5	16,8785	17,9010	16,6856	17,4538	17,1198
6	15,4914	16,5131	16,3122	16,7801	17,3332
7	15,9638	19,0914	16,2553	19,3744	19,5493
8	16,9598	18,1242	17,6831	15,1037	18,6312
9	15,8067	15,6122	18,8414	16,8761	18,7177

4.2 Analisis Karakteristik Kualitas dan Analisis Variansi

Beberapa karakteristik pengukuran, biasanya menunjukkan karakteristik kualitas yang digunakan untuk mengekspresikan sejauh mana produk menjalankan fungsinya. Dalam menentukan karakteristik kualitas, Taguchi menggunakan analisis *Signal to Noise ratio* (SNR). Dalam penelitian ini karakteristik kualitas yang digunakan adalah *Higher the better*, yaitu diharapkan bahwa nilai FF yang dapat dicapai adalah yang paling maksimum.

Setelah dilakukan pengumpulan data, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan data berdasarkan hasil yang telah terkumpul. Data diolah dengan menggunakan dua cara, yaitu *analysis of variance* (ANOVA) untuk nilai rata-rata (mean) dan ANOVA untuk nilai SNR. ANOVA untuk nilai rata-rata digunakan untuk mencari faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi hasil eksperimen (*setting level*). Sedangkan ANOVA untuk nilai SNR dipergunakan untuk mencari faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variansi suatu karakteristik kualitas.



4.2.1 Perhitungan nilai rata-rata dan SNR

Dalam metode Taguchi, *lost function* digunakan untuk menentukan performa karakteristik deviasi dari nilai yang diinginkan. *Signal to Noise ratio* adalah fungsi log pada output yang diinginkan dan digunakan seperti fungsi objektif untuk optimasi dan analisis data (Pardeshi, 2016). *Signal* merepresentasikan nilai (mean) yang diinginkan untuk karakteristik output, sedangkan *noise* merepresentasikan nilai (standart deviasi) yang tidak diinginkan pada karakteristik output. Sehingga *Signal to Noise* digunakan untuk mengukur karakteristik kualitas deviasi dari nilai yang diinginkan (Vasulu, 2013). Dengan menggunakan karakteristik kualitas *Higher the better*, maka menggunakan persamaan 4.1 dan 4.2.

$$M.S.D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{y_i} \right)^2 \quad (4.1)$$

$$\eta = -10 \cdot \text{Log} (M.S.D.) \quad (4.2)$$

Keterangan :

η : S/N ratio

N : jumlah pengulangan dari suatu percobaan

y : nilai FF

Nilai yang diharapkan adalah nilai hasil pengujian FF terbesar, dengan pengulangan sebanyak 5 kali. Berikut adalah contoh perhitungan S/N ratio pada nomor eksperimen 2 dengan lima kali percobaan :

$$M.S.D = \frac{1}{5} \left[\left(\frac{1}{18.6875} \right)^2 + \left(\frac{1}{19.0147} \right)^2 + \left(\frac{1}{19.2} \right)^2 + \left(\frac{1}{20.0924} \right)^2 + \left(\frac{1}{19.0795} \right)^2 \right]$$

$$M.S.D = 0.002713$$

$$\eta = -10 \cdot \text{Log}(0.002713)$$

$$\eta = 25,66516$$



Perhitungan untuk nomor eksperimen yang lain bisa dilihat pada lampiran.

Tabel 4.7 Data perhitungan Rata-rata dan SNR metode Taguchi

Nomor Eksperimen	Parameter proses			Mean FF	SNR
	Komposisi % wt Sn	Tekanan Kompaksi	Temperatur Sintering		
1	5	200	200	18,58	25,37437
2	5	300	250	19,20	25,66516
3	5	400	300	17,47	24,82197
4	10	200	250	18,85	25,47852
5	10	300	300	17,22	24,70641
6	10	400	200	16,50	24,32449
7	15	200	300	18,09	25,02165
8	15	300	200	17,30	24,68946
9	15	400	250	17,16	24,61239

4.2.2 Perhitungan ANOVA Nilai Rata-rata

Berikut langkah-langkah perhitungan ANOVA nilai rata-rata:

1. Menghitung nilai rata-rata semua eksperimen

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$
$$\bar{y} = \frac{17,5464 + 19,1899 + \dots + 18,7177}{43}$$
$$\bar{y} = \frac{764,5043}{43}$$
$$\bar{y} = 17,7791$$

2. Menghitung nilai rata-rata setiap level faktor, untuk contoh faktor A level 1

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$



$$\hat{y}_{jk} = \frac{18,6137 + 19,2148 + 17,46866}{3}$$

$$\hat{y}_{jk} = 18,4324$$

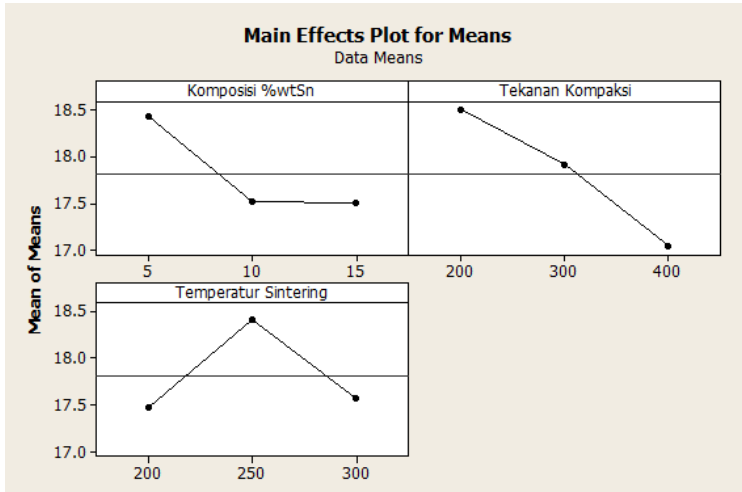
3. Membuat *response tabel* dan *response graph*

Setelah melakukan semua perhitungan Mean untuk setiap parameter dan level selanjutnya hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4.8 berikut

Tabel 4.8 *Respon Tabel Means* nilai FF (*Higher the better*)

Level	Komposisi %wt Sn	Tekanan Kompaksi	Temperatur Sintering
1	18,43	18,50	17,47
2	17,51	17,91	18,41
3	17,51	17,04	17,57
Delta	0,93	1,46	0,94
Rank	3	1	2

Dari Tabel 4.8 diatas, dibuat grafik untuk mempermudah pengamatan pada level dan faktor mana yang menghasilkan nilai optimum yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Plot nilai mean ini merupakan hasil analisis DOE metode Taguchi dengan menggunakan Minitab® 16



Gambar 4.2 Plot mean Taguchi dari nilai FF

Bisa dilihat pada Gambar 4.2 hasil plot mean bahwa respon nilai FF yang memberikan nilai tertinggi ditunjukkan pada kombinasi parameter proses $A_1B_1C_2$.

4. Menghitung nilai *total sum of square*

$$SS_{total} = \sum Y^2$$

$$SS_{total} = 18,6137^2 + 19,2148^2 + \dots + 17,1708^2$$

$$SS_{total} = 2871,8426$$

5. Menghitung nilai *sum of squared due to mean*

$$mean (S_m) = n\bar{y}^2$$

$$mean (S_m) = 9 * 17,81^2$$

$$mean (S_m) = 2856,773$$



6. Menghitung *sum of square due to factor*, untuk contoh perhitungan adalah faktor A

$$SS_A = n_{A1} * \overline{A1}^2 + n_{A2} * \overline{A2}^2 + n_{A3} * \overline{A3}^2 - SS_m$$

$$SS_A = (3 * 18,4324^2) + (3 * 17,5103^2) + (3 * 17,5063^2) \\ - 2856.773$$

$$SS_A = 1,708$$

7. Menghitung nilai *sum of square due to error*

$$SS_e = SS_{total} - SS_m - (SS_A + SS_B + SS_C + SS_D)$$

$$SS_e = 2871,8426 - 2856,773 (1,7084 + 3,2238 + 1,5912)$$

$$SS_e = 0,1075$$

8. Menghitung derajat kebebasan, untuk contoh perhitungan pada faktor A

$$DF_A = \text{jumlah level} - 1$$

$$DF_A = 3 - 1$$

$$DF_A = 2$$

9. Menghitung nilai *mean sum of square*, untuk contoh perhitungan faktor A

$$MS_A = \frac{SS_A}{DF_A}$$

$$MS_A = \frac{1,708}{2}$$

$$MS_A = 0,8542$$

10. Menghitung nilai *F ratio*, untuk contoh perhitungan faktor A

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_e}$$



$$F_A = \frac{0,8542}{0,0537}$$

$$F_A = 15,8923$$

11. Menghitung *pure sum of square*, untuk contoh perhitungan faktor A

$$SS'_A = SS_A - (DF_A * M_e)$$

$$SS'_A = 1,708 - (2 * 0,05375)$$

$$SS'_A = 1,6009$$

12. Menghitung *percent contribution*, untuk contoh perhitungan faktor A

$$\rho_A = \frac{SS'_A}{SS_t}$$

$$\rho_A = \frac{1,6009}{6,6310} * 100\%$$

$$\rho_A = 24,14 \%$$

Hasil dari seluruh perhitungan ANOVA untuk nilai rata-rata ditunjukkan pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Hasil perhitungan ANOVA untuk rata-rata

Sumber	SS	DF	MS	F Rasio	SS'	% Kontribusi	F tabel
A	1,7084	2	0,8542	15,892	1,6609	24,142	5,41
B	3,2238	2	1,6119	29,989	3,1163	46,996	5,41
C	1,5912	2	0,7956	14,801	1,4830	22,375	5,41
Error	0,1075	2	0,0537	1	0,4300	6,484	
SS _t	6,6310	8			6,6310		
Mean	2856,773	1					
SS _{total}	287,842	9				93,515	



Pada Tabel 4.9 nilai hasil perhitungan manual ini sudah sesuai dengan hasil analisis DOE metode Taguchi dengan menggunakan software Minitab® 16.

Dari tabel ANOVA bisa diketahui bahwa faktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai FF yaitu faktor B faktor Tekanan Kompaksi dengan besar kontribusi sebesar 46,996 %. Hasil % kontribusi ini juga sesuai dengan analisa pada tabel 4.8 *response mean* bahwa tekanan kompaksi berada pada peringkat pertama dalam memberikan pengaruh terhadap nilai FF. Kesimpulan ini juga didukung dengan nilai F rasio masing-masing parameter memiliki nilai yang lebih besar dari pada F tabel ($F_{0,05;3;5} = 5,41$).

4.2.3 Perhitungan ANOVA Nilai SNR

Selanjutnya melakukan perhitungan analisis variansi pada nilai rasio S/N. Berikut langkah-langkah perhitungan ANOVA nilai SNR.

1. Menghitung nilai rata-rata semua eksperimen

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{25,3743 + 25,6651 + \dots + 24,6123}{9}$$

$$\bar{y} = \frac{224,6944}{9}$$

$$\bar{y} = 24,96604$$

2. Menghitung nilai rata-rata setiap level faktor, untuk contoh faktor A level 1

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

$$\bar{y}_{jk} = \frac{25,3743 + 25,6651 + 25,8219}{3}$$

$$\bar{y}_{jk} = 25,2871$$



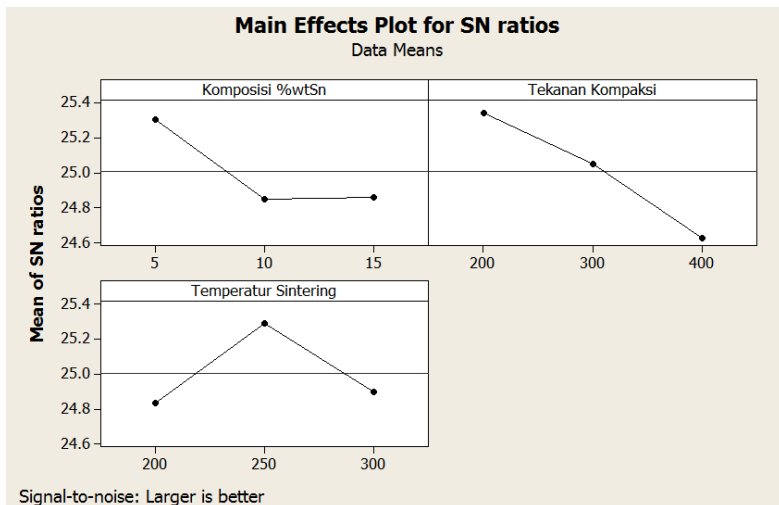
3. Membuat *response tabel* dan *response graph*

Setelah melakukan semua perhitungan SNR untuk setiap parameter dan level selanjutnya hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4.10 berikut

Tabel 4.10 *Respon Tabel SN Ratio* nilai FF (*Higher the better*)

Level	Komposisi % wt Sn	Tekanan Kompaksi	Temperatur Sintering
1	25,28717	25,29151	24,79610
2	24,83647	25,02034	25,25202
3	24,77450	24,58628	24,85001
Delta	0,51267	0,70523	0,45591833
Rank	2	1	3

Dari Tabel 4.10 diatas, dibuat grafik untuk mempermudah pengamatan pada level dan faktor mana yang menghasilkan nilai optimum yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Plot nilai SNR ini merupakan hasil analisis DOE metode Taguchi dengan menggunakan *software* Minitab® 16



Gambar 4.3 Plot SNR Taguchi dari nilai FF



Bisa dilihat pada Gambar 4.3 hasil plot mean bahwa respon nilai FF yang memberikan nilai tertinggi ditunjukkan pada kombinasi parameter proses $A_1B_1C_2$.

4. Menghitung nilai *total sum of square*

$$SS_{total} = \sum Y^2$$

$$SS_{total} = 25,3743^2 + 25,6651^2 + \dots + 24,8219^2$$

$$SS_{total} = 5611,3529$$

5. Menghitung nilai *sum of squared due to mean*

$$mean (S_m) = n\bar{y}^2$$

$$mean (S_m) = 9 * 24,966^2$$

$$mean (S_m) = 5609,7303$$

6. Menghitung *sum of square due to factor*, untuk contoh perhitungan adalah faktor A

$$SS_A = n_{A1} * \bar{A1}^2 + n_{A2} * \bar{A2}^2 + n_{A3} * \bar{A3}^2 - SS_m$$

$$SS_A = (3 * 25,2871^2) + (3 * 24,8364^2) + (3 * 24,7725^2)$$

$$- 5609,7303$$

$$SS_A = 0,4687$$

7. Menghitung nilai *sum of square due to error*

$$SS_e = SS_{total} - SS_m - (SS_A + SS_B + SS_C + SS_D)$$

$$SS_e = 5611,3529 - 5609,7303(0,4687 + 0,7592 + 0,3723)$$

$$SS_e = 0,0211$$

8. Menghitung derajat kebebasan, untuk contoh perhitungan pada faktor A



$$DF_A = \text{jumlah level} - 1$$

$$DF_A = 3 - 1$$

$$DF_A = 2$$

9. Menghitung nilai *mean sum of square*, untuk contoh perhitungan faktor A

$$MS_A = \frac{SS_A}{DF_A}$$

$$MS_A = \frac{0,4697}{2}$$

$$MS_A = 0,2348$$

10. Menghitung nilai *F ratio*, untuk contoh perhitungan faktor A

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_e}$$

$$F_A = \frac{0,2348}{0,01054}$$

$$F_A = 22,284$$

11. Menghitung *pure sum of square*, untuk contoh perhitungan faktor A

$$SS'_A = SS_A - (DF_A * M_e)$$

$$SS'_A = 0,4697 - (2 * 0,01054)$$

$$SS'_A = 0,4487$$

12. Menghitung *percent contribution*, untuk contoh perhitungan faktor A

$$\rho_A = \frac{SS'_A}{SS_t}$$



$$\rho A = \frac{0,4487}{1,6225} * 100\%$$

$$\rho A = 27,65 \%$$

Hasil dari seluruh perhitungan ANOVA untuk nilai Rasio SN ditunjukkan pada Tabel 4.11

Tabel 4.11 Hasil perhitungan ANOVA untuk SNR

Sumber	SS	DF	MS	F Rasio	SS'	% Kontribusi	F tabel
A	0,4697	2	0,2348	22,284	0,4487	27,654	5,41
B	0,7592	2	0,3796	36,015	0,7382	45,496	5,41
C	0,3723	2	0,1861	17,663	0,3513	21,651	5,41
Error	0,0211	2	0,0105	1	0,0843	5,197	
SS_t	1,6225	8			1,6225		
Mean	5609,7303	1					
SS_{total}	5611,3529	9				94,8026	

Pada Tabel 4.11 nilai hasil perhitungan manual ini sudah sesuai dengan hasil analisis DOE metode Taguchi dengan menggunakan software Minitab® 16.

Dari tabel ANOVA bisa diketahui bahwa nilai eror penyebab deviasi atau penyimpangan data pada model sebesar 5,19 %. Dimana nilai ini bisa diterima karena dari syarat eror Taguchi maksimal 50%.

4.2.4 Analisis optimasi nilai FF

Dari hasil analisis DOE metode Taguchi dengan Minitab® 16 bisa diketahui pula kombinasi parameter proses mana yang memberikan nilai maksimum, sekalipun kombinasi parameter tersebut tidak dilakukan pada eksperimen. Pada hasil perhitungan diperoleh nilai *mean* FF yang ditampilkan dalam bentuk plot pada Gambar 4.2

Untuk mengetahui parameter proses yang memberikan nilai respon yang optimal dari plot Taguchi bisa melihat dari posisi



plot yang paling Optimum untuk kondisi karakteristik kualitas *Higher the better*. Dari gambar 4.2 dapat diketahui kombinasi parameter proses yang optimal Komposisi 20% wt Sn, tekanan kompaksi 450 MPa dan pada temperatur sintering 500 °C.

Nilai FF dari proses optimasi taguchi ini bisa diprediksi nilainya dengan mengetahui nilai FF per variabel pada masing level. Nilai ini bisa diperoleh dari pengolahan data Taguchi dengan Minitab® 16 yang ditunjukkan pada Tabel 4.12

Tabel 4.12 Respon Tabel Means nilai FF (*Higher the better*)

Level	Komposisi % wt Sn	Tekanan Kompaksi	Temperatur Sintering
1	18,43	18,50	17,47
2	17,51	17,91	18,41
3	17,51	17,04	17,57
Delta	0,93	1,46	0,94
Rank	3	1	2

Dari Tabel 4.9 bisa diketahui masing-masing variabel yang memiliki nilai nilai optimum yaitu komposisi % wt Sn pada level 1 sebesar 18.43, tekanan kompaksi pada level 1 yaitu 18.50 dan temperatur sintering pada level 2 yaitu 18.41, yang selanjutnya nilai ini digunakan untuk memprediksi nilai FF yang optimum, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Nilai FF} = A_1 + B_1 + C_2 - 2T$$

Keterangan :

- A_1 : nilai pada Variabel A (Komposisi 5wt Sn) pada level 1
- B_1 : nilai pada Variabel B (Tekanan Kompaksi) pada level 1
- C_2 : nilai pada Variabel C (Temperatur sintering) pada level 2
- T : mean nilai FF data yang digunakan untuk perhitungan

Prediksi nilai optimum FF bisa dihitung sebagai berikut;



$$\text{Nilai FF} = 18,43 + 18,50 + 18,41 - 2 \times 17,81626$$

$$\text{Nilai FF} = 19,70$$

Maka dapat diprediksi bahwa nilai FF setelah dilakukan konfirmasi eksperimen mencapai 19,70.

4.3 Pendekatan pola dengan Artificial Neural Network

Sistem *artificial neural* adalah sistem seluler fisik yang mana dapat menyimpan dan memanfaatkan informasi eksperimental. Kekuatan pembelajaran pada algoritma dan kemampuan mengorganisir diri, memungkinkan ANN untuk beradaptasi terhadap lingkungan. Setelah melakukan analisis Taguchi, selanjutnya melakukan pendekatan pola hasil eksperimen dengan menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN). Dalam hal ini penulis ingin menganalisis kinerja jaringan saraf tiruan metode *Backpropagation* dalam memprediksi koefisien nilai FF. Data hasil eksperimen yang digunakan sebagai pelatihan, kemudian data hasil pelatihan dibandingkan kembali dengan data hasil eksperimen. Yang selanjutnya pola dari pelatihan yang sudah dibentuk akan digunakan untuk melakukan pengujian data guna mencari kombinasi parameter proses yang menghasilkan nilai FF optimum.. Selanjutnya untuk memudahkan perhitungan maka proses interaksi dan running data eksperimen, digunakan perangkat lunak MATLAB R2013a.

4.3.1 Proses Pelatihan Data

Dalam penelitian ini algoritma yang digunakan adalah *Multi layered Preception* (MLP), dalam algoritma ini optimasi pemberat selama proses pebelajaran bisa menggunakan rumusan terbaru yang diberikan fungsi keluaran pada neuron. Lapisan (*layer*) pertama terdiri dari satu set input dan lapisan akhir merupakan output (target). Diantara lapisan input dan output terdapat lapisan tersembunyi yang disebut dengan *hidden layer*. *Hidden layer* merepresentasikan ketidaklinearan dari sistem jaringan (Wibowo, 2013).



Struktur ANN yang digunakan adalah *Backpropagation* (BP). Proses training pada BP memerlukan tiga tahapan yaitu, feedforward data input untuk pelatihan, *backpropagation* untuk nilai kesalahan (*error*) serta penyesuaian nilai bobot tiap node masing-masing layer pada ANN.

Penentuan parameter *neural network* dilakukan dengan mencari nilai Koefisien korelasi (R^2) diatas 0.9 dan *Mean square Error* (MSE). Proses training dilakukan sebanyak 50 kali yang kemudian dicari nilai rata-rata setiap nomor eksperimen. Ada beberapa tahapan dalam melakukan prediksi pemodelan data di Matlab yang akan dijelaskan sebagai berikut :

a. Preprocessing/ Normalisasi

Pada proses prediksi menggunakan *Backpropagation Neural Network*, sebelum dilakukan pelatihan, data *input* dan target *output* harus dinormalisasi terlebih dahulu. Normalisasi adalah penskalaan terhadap nilai-nilai masuk ke dalam suatu range tertentu. Hal ini dilakukan agar nilai *input* dan target *output* sesuai dengan range dari fungsi aktivasi yang digunakan dalam jaringan. Data *input* dan target *output* dinormalisasi dengan cara membawa data ke bentuk normal yang memiliki mean = 0 dan standar deviasi =1, berdasarkan persamaan 4.3:

$$X_i = \frac{X_{real} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (4.3)$$

Data yang digunakan dalam proses eksperimen merupakan data hasil eksperimen seperti yang telah ditampilkan sebelumnya pada tabel 4.7 namun tanpa mengikutsertakan nilai rasio S/N.. Hasil normalisasi data eksperimen ditunjukkan pada Tabel 4.13



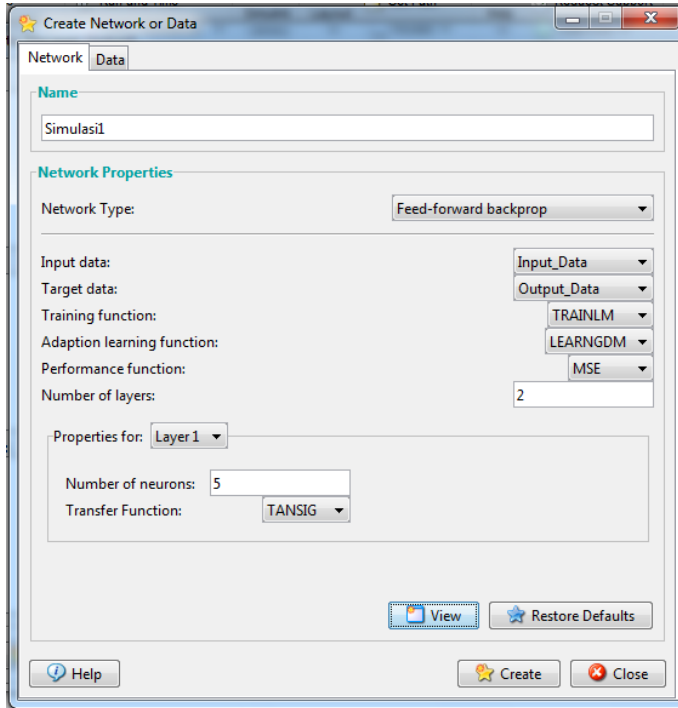
Tabel 4.13 Data nilai FF hasil normalisasi

Nomor Eksperimen	Parameter Proses			Mean FF
	A	B	C	
1	0	0	0	0,77
2	0	0,5	0,5	1,00
3	0	1	1	0,35
4	0,5	0	0,5	0,86
5	0,5	0,5	1	0,26
6	0,5	1	0	0,00
7	1	0	1	0,58
8	1	0,5	0	0,29
9	1	1	0,5	0,24

b. Perancangan Struktur jaringan

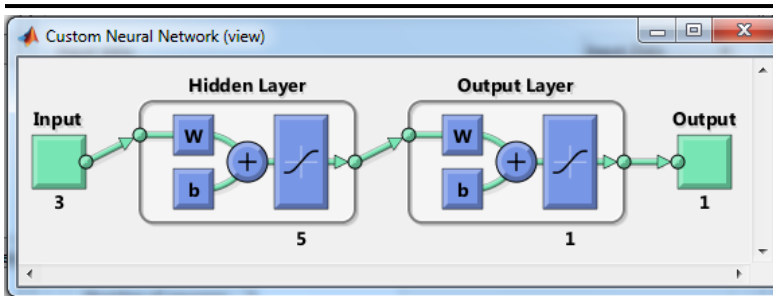
Proses pengolahan data menggunakan nntool. Yang selanjutnya melakukan input data yang sudah dinormalisasi kedalam nntool.

Langkah pertama dengan menentukan jaringan *feedforward neural network* dengan algoritma *backpropagation*. Fungsi aktivasi yang digunakan pada lapis tersembunyi yaitu *sigmoid biner* (tansig), sedangkan pada lapis output menggunakan fungsi aktivasi *linier* (purelin). Setingan jaringan *feedforward neural network* dengan algoritma *backpropagation* ini ditunjukkan pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Seting arsitektur jaringan pada ANN

Langkah selanjutnya adalah menentukan jumlah lapisan input, lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan lapisan output. Pembelajaran *Backpropagation* dilakukan dengan menentukan banyaknya neuron pada lapis tersembunyi. Arsitektur ini terdiri dari satu lapisan input dengan 3 neuron, satu lapisan hidden layer dengan 5 neuron dan satu lapisan output dengan satu neuron. Gambar dari arsitektur jaringan tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Arsitektur jaringan yang digunakan

Penentuan bobot model bergantung pada penelitian parameter pembelajaran. Menurut Kusuma Dewi, 2004 parameter pembelajaran yang digunakan dengan *traingdx* adalah

- Maksimum epoch : 10.000
- Toleransi eror : 0,01
- Learning rate (α) : 0,5
- Jumlah Iterasi : 1.000

c. Pemilihan Struktur Jaringan yang Optimum

Setelah melakukan perancangan struktur jaringan, langkah selanjutnya adalah proses pelatihan data yang digunakan NN untuk membentuk pola. Dalam proses training disini NN akan bermain dengan menaik turunkan bobot dsetiap neuronnya. Setelah proses pelatihan dilakukan proses pengujian dengan menguji prestasi pelatihan melalui nilai koefisien korelasinya (R^2). Pola jaringan yang dipilih ketika nilai R^2 diatas atau sama dengan 0.9. Proses training dilakukan sebanyak 50 kali.

d. Postprosesing/ Denormalisasi

Hasil dari proses pembelajaran ini berupa data prediksi target dan eror. Berikut ditampilkan perbandingan nilai rata-rata data target hasil training dengan hasil eksperimen dan nilai MSE yang ditunjukkan pada Tabel 4.14



Tabel 4.14 Perbandingan data hasil pembelajaran ANN

Nomor Eksperimen	Parameter proses			Mean FF		MSE
	Komposisi % wt Sn	Tekanan Kompaksi	Temperatur Sintering	Eksperi men	ANN	
1	20	450	400	18.58	18,73947	0,012922
2	20	600	500	19.20	19,03197	0,010128
3	20	750	600	17.47	17,45793	0,017156
4	30	450	500	18.85	18,83298	0,003335
5	30	600	600	17.22	17,36202	0,012176
6	30	750	400	16.50	16,7061	0,015583
7	40	450	600	18.09	18,01087	0,013434
8	40	600	400	17.30	17,18205	0,017836
9	40	750	500	17.16	16,98705	0,014922
MSE total						0,013055

Data pada Tabel 4.14 merupakan data hasil pembelajaran setelah dilakukan denormalisasi. Proses denormalisasi digunakan untuk mentransformasikan data olahan menjadi nilai yang skalanya sesuai dengan yang sebenarnya. Proses denormalisasi menggunakan persamaan 4.4;

$$D = H \times (D_{max} + D_{min}) + D_{min} \quad (4.4)$$

Keterangan:

D : data hasil denormalisasi

H : data hasil *output neural network*

D_{max} : data eksperimen paling maksimum

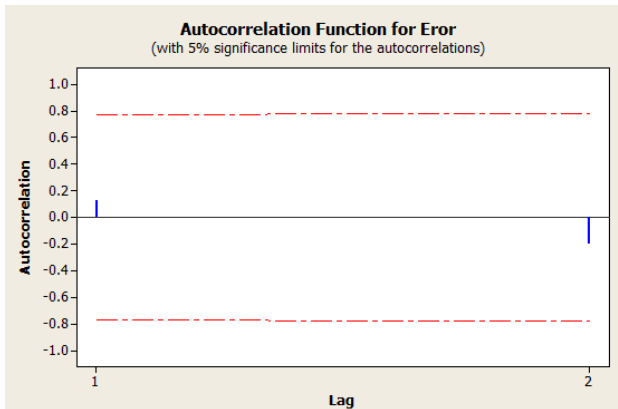
D_{min} : data eksperimen paling minimum

Data pembelajaran yang dilakukan dengan NN ini memiliki nilai Koefisien korelasi (R^2) rata-rata untuk 50 kali pelatihan sebesar 0,949. Dengan nilai R^2 0,949 menunjukkan hubungan antara variabel input (variabel bebas) mempunyai hubungan langsung positif baik, artinya data saling berkorelasi. Pada Tabel 4.14 menunjukkan nilai *Mean Square Error* selama 50 kali pelatihan 1,3%. Nilai kesalahan yang dihasilkan sangat kecil, nilai ini menunjukkan bahwa kesalahan antara model actual dan hasil simulasi masih dibawah toleransi.



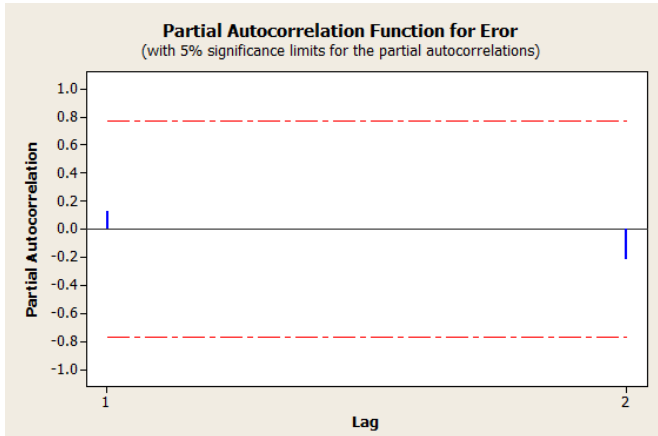
4.3.2 Uji Kesesuaian Model

Sebelum menggunakan model *backpropagation* yang terbentuk dari 5 neuron pada lapis tersembunyi dengan input x_1 , x_2 , x_3 sebagai model prediksi nilai FF perlu dilakukan pengujian pada eror model tersebut. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah eror pada model yang terbentuk tersebut telah *white noise* atau belum. Pengujian ini dilihat dari plot *Auto Corelation Function* (ACF) dan *Partial Auto Corelation Function* (PACF) dari eror yang dihasilkan pada data pembelajaran yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 untuk ACF dan 4.7 untuk PACF



Gambar 4.6 Plot ACF model FFNN algoritma Backpropagation dengan 5 neuron pada lapis tersembunyi dan x_1 , x_2 , x sebagai input

Pada Gambar 4.6 diatas menunjukkan bahwa korelasi masih berada pada interval $\pm \frac{2}{\sqrt{n}}$. Hal tersebut berarti bahwa proses pelatihan pada pembelajaran ini telah dilakukan secara independen dan tidak terdapat korelasi antara pelatihan.



Gambar 4.7 Plot PACF model FFNN algoritma Backpropagation dengan 5 neuron pada lapis tersembunyi dan x_1, x_2, x sebagai input

Pada Gambar 4.7 diatas menunjukkan bahwa korelasi masih berada pada interval $\pm \frac{2}{\sqrt{n}}$. Hal tersebut berarti bahwa proses pelatihan pada pembelajaran ini telah dilakukan secara independen dan tidak terdapat korelasi antara pelatihan

Dari Gambar 4.6 dan 4.7 ACF dan PACF terlihat bahwa semua lag berada dalam selang kepercayaan, berarti eror bersifat random atau independen. Sehingga model *Feedforward Neural Network* dengan algoritma *Backpropagation* yang dibangun dari 5 neuron pada lapis tersembunyi dengan input x_1, x_2, x_3 dapat digunakan sebagai model pengujian nilai FF.

4.3.3 Prediksi nilai optimum FF dengan *Neural Network*

Setelah melakukan uji kesesuaian model untuk melihat nilai prestasi dalam melakukan prediksi, Selanjutnya dilakukan proses pengujian data untuk mencari nilai yang optimum. Kombinasi parameter yang digunakan dalam proses pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 4.15



Tabel 4.15 Data input yang digunakan untuk memprediksi target

Nomor eksperimen	Denormalisasi			Normalisasi		
	Komposisi % wt Sn	Tekanan Kompaksi MPa	Temperatur Sintering °C	A	B	C
10	20	450	400	0	0	0,5
11	20	450	600	0	0	1
12	20	600	400	0	0,5	0
13	20	600	600	0	0,5	1
14	20	750	400	0	1	0
15	20	750	500	0	1	0,5
16	30	450	400	0,5	0	0
17	30	450	600	0,5	0	1
18	30	600	400	0,5	0,5	0
19	30	600	500	0,5	0,5	0,5
20	30	750	500	0,5	1	0,5
21	30	750	600	0,5	1	1
22	40	450	400	1	0	0
23	40	450	500	1	0	0,5
24	40	600	500	1	0,5	0,5
25	40	600	600	1	0,5	1
26	40	750	400	1	1	0
27	40	750	600	1	1	1

Pada Tabel 4.15 merupakan kombinasi parameter sebelum dinormalisasi dan setelah dinormalisasi. Data ini yang selanjutnya akan diprediksi nilai FF dengan menggunakan pola arsitek yang telah dibentuk sebelumnya dalam proses pembelajaran.

Proses pengujian data dari nomor eksperimen 10-27 ini dilakukan sebanyak 50 kali juga, yang selanjutnya akan dilakukan nilai rata-rata. Hasil proses training data bisa dilihat dalam lampiran. Data target rata-rata ini selanjutnya ditunjukkan pada Tabel 4.16.



Tabel 4.16 Data input yang digunakan untuk memprediksi target

Nomor eksperimen	Komposisi % wt Sn	Tekanan Kompaksi MPa	Temperatur Sintering °C	Nilai FF
10	20	450	400	19,0240
11	20	450	600	18,9807
12	20	600	400	18,5258
13	20	600	600	18,6524
14	20	750	400	17,4463
15	20	750	500	17,8023
16	30	450	400	18,3704
17	30	450	600	18,6909
18	30	600	400	17,0295
19	30	600	500	17,8615
20	30	750	500	17,0778
21	30	750	600	17,1057
22	40	450	400	17,9846
23	40	450	500	18,0582
24	40	600	500	17,1981
25	40	600	600	17,0968
26	40	750	400	16,7555
27	40	750	600	17,1332

Data dalam Tabel 4.16 ini terlebih dahulu juga dilakukan proses denormalisasi. Bisa diketahui bahwa dari prediksi *neural network* nilai FF yang optimum terjadi pada kombinasi parameter proses Komposisi 20%wt Sn, Tekanan Kompaksi 450 MPa, Temperatur Sintering 400 °C. Nilai kombinasi parameter proses yang optimum ini sesuai dengan hasil prediksi pada metode Taguchi. Tetapi nilai prediksi FF ini memiliki besar yang tidak sama.

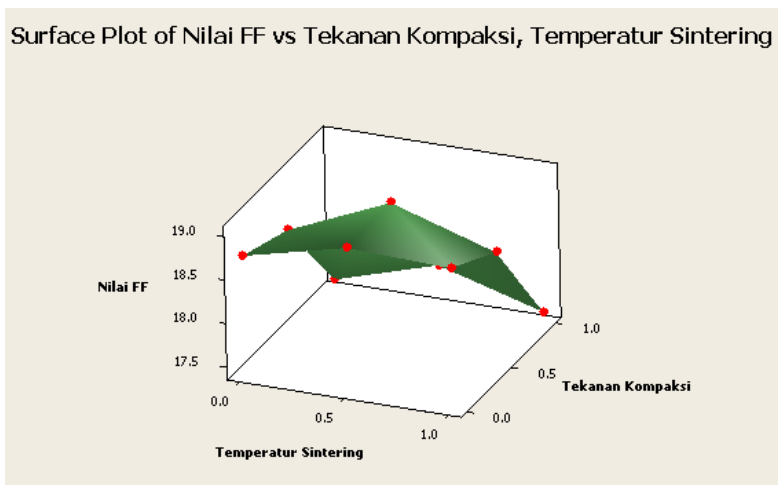


4.4 Plot Permukaan Respon

Permukaan respon secara grafik dapat digambarkan dalam ruang berdimensi tiga. Fungsi dari karakteristik permukaan respon adalah untuk menentukan jenis titik stasioner, apakah stasioner maksimum, minimum atau pelana (Salimy, 2008). Pada penelitian ini ingin mengetahui hubungan pengaruh masing-masing variabel melalui plot permukaan.

a. Perbandingan Tekanan Kompaksi dengan temperatur Sintering

Gambar 4.8 dan 4.9 merupakan *Surface plot* dan *Countour plot* yang menggambarkan pengaruh perubahan pada parameter respon Tekanan Kompaksi dan Temperatur sintering terhadap respon nilai FF. *Plot* dibuat dengan mengatur *Hold values* pada Komposisi %wtSn posisi 0 (30 % wt Sn).

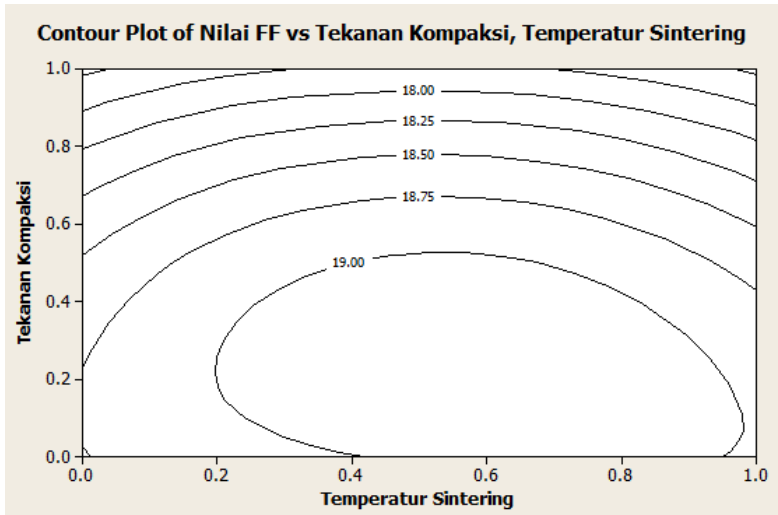


Gambar 4.8 Surface Plot Parameter Tekanan Kompaksi dan Temperatur sintering terhadap respon nilai FF

Dari Gambar 4.8 dapat diketahui kontour respon nilai FF terhadap level tekanan kompaksi dan temperatur sintering. Titik warna merah adalah posisi nilai FF dari data sekunder. Dari sini



bisa diketahui titik stasioner pada percobaan ini adalah maksimum.



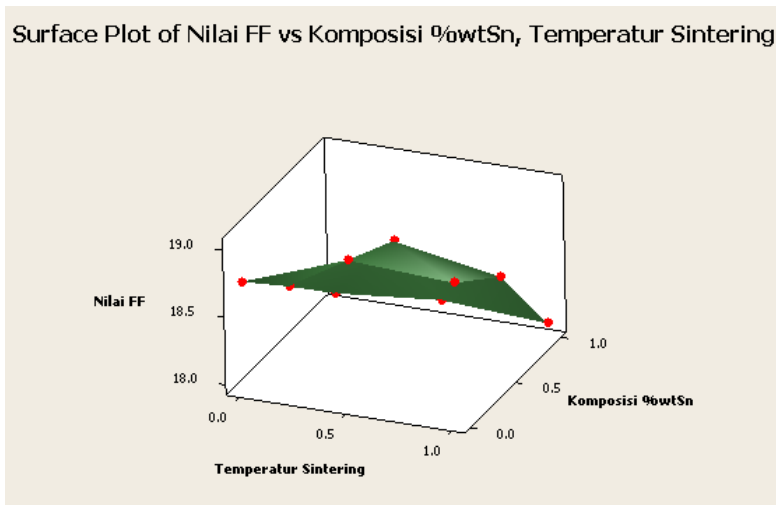
Gambar 4.9 Countour Plot Parameter Tekanan Kompaksi dan Temperatur sintering terhadap respon nilai FF

Dari Gambar 4.9 bisa diketahui dengan menyeting nilai Komposisi % wt Sn pada level 0 (20%), nilai maksimum FF akan didapatkan pada kondisi Temperatur Sitering di antara level 0,4-0,6 (sekitar 500 ° C) serta kondisi tekanan kompaksi lebih rendah dari level 0 (450 Mpa). Dengan menyetting nilai Tekanan Kompaksi dan Temperatur sintering pada level tersebut, maka akan diperoleh nilai $FF > 19,0$.



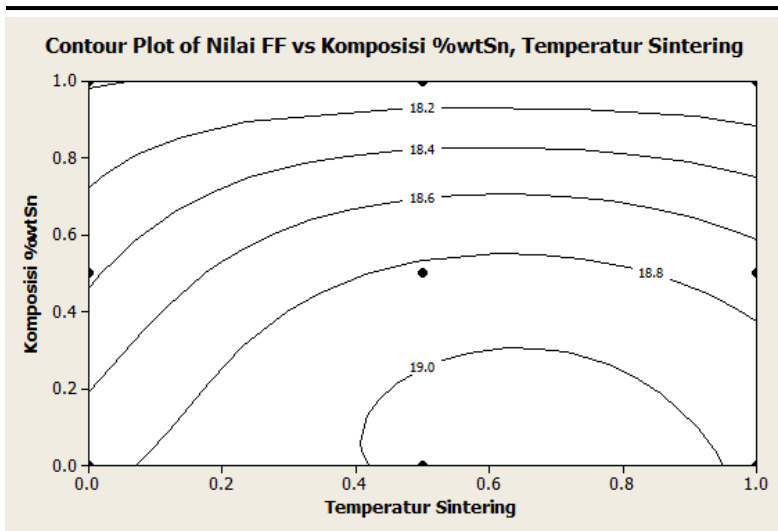
b. Perbandingan Komposisi %wtSn dengan temperatur Sintering

Gambar 4.10 dan 4.11 merupakan *Surface plot* dan *Countour plot* yang menggambarkan pengaruh perubahan pada parameter respon Komposisi %wtSn dan Temperatur sintering terhadap respon nilai FF. *Plot* dibuat dengan mengatur *Hold values* pada tekanan kompaksi dengan level 0 (450 MPa).



Gambar 4.10 Surface Plot Parameter Komposisi %wtSn dan Temperatur sintering terhadap respon nilai FF

Dari Gambar 4.10 dapat diketahui kontour respon nilai FF terhadap level komposisi %wtSn dan temperatur sintering. Titik warna merah adalah posisi nilai FF dari data sekunder. Dari sini bisa diketahui titik stasioner pada percobaan ini adalah maksimum.



Gambar 4.11 Countour Plot Parameter komposisi %wtSn dan Temperatur sintering terhadap respon nilai FF

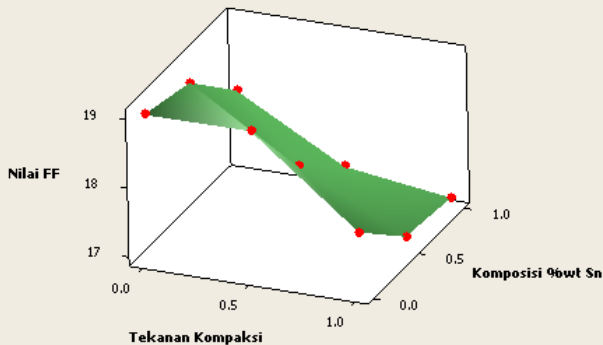
Dari Gambar 4.11 bisa diketahui dengan menyeting nilai tekanan kompaksi pada level 0 (450 MPa), nilai maksimum FF akan didapatkan pada kondisi temperatur sintering di antara level 0,4-0,6 (sekitar 500 ° C) serta kondisi komposisi %wtSn kurang dari level 0,2 (25% wt Sn). Dengan menyetting nilai komposisi %wtSn dan temperatur sintering pada level tersebut, maka akan diperoleh nilai FF > 19,0.

c. Perbandingan Tekanan Kompaksi dengan Tekanan Kompaksi

Gambar 4.12 dan 4.13 merupakan *Surface plot* dan *Countour plot* yang menggambarkan pengaruh perubahan pada parameter respon Komposisi %wtSn dan tekanan kompaksi terhadap respon nilai FF. *Plot* dibuat dengan mengatur *Hold values* pada temperatur sintering dengan level 0.5 (500 °C).

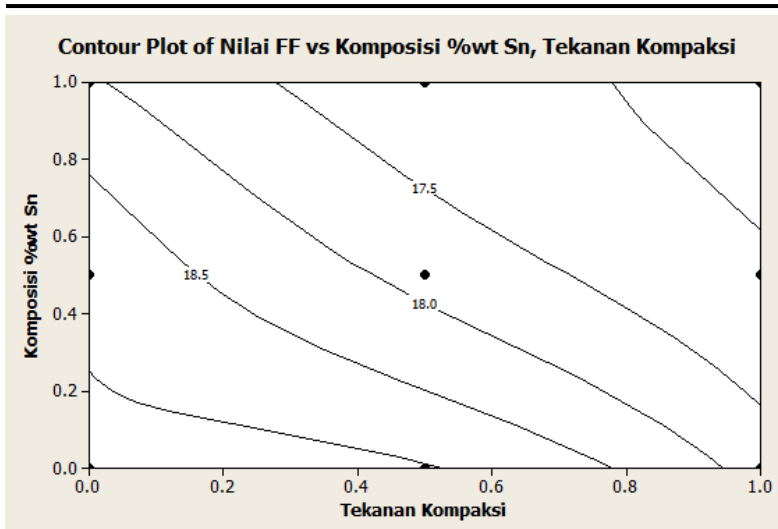


Surface Plot of Nilai FF vs Komposisi %wt Sn, Tekanan Kompaksi



Gambar 4.12 Surface Plot Parameter Komposisi %wtSn dan tekanan kompaksi terhadap respon nilai FF

Dari Gambar 4.12 dapat diketahui kontour respon nilai FF terhadap level komposisi %wtSn dan tekanan kompaksi. Titik warna merah adalah posisi nilai FF dari data sekunder. Dari sini bisa diketahui titik stasioner pada percobaan ini adalah maksimum.



Gambar 4.13 Countour Plot Parameter Komposisi %wtSn dan Tekanan Kompaksi terhadap respon nilai FF

Dari Gambar 4.13 bisa diketahui dengan menyeting nilai temperatur sintering pada level 0.5 (500 °C), nilai maksimum FF akan didapatkan pada kondisi komposisi %wt Sn kurang dari level 0.2 (25%wt Sn) serta kondisi tekanan kompaksi lebih rendah dari level 0.5 (600 Mpa). Dengan menyetting nilai tekanan kompaksi dan temperatur sintering pada level tersebut, maka akan diperoleh nilai FF > 19,0.

4.5 Eksperimen Konfirmasi

Didalam metode Taguchi, tahap akhirnya adalah tes konfirmasi untuk membuktikan kesimpulan eksperimentalnya. Tes konfirmasi termasuk suatu hal yang penting karena kombinasi parameter proses yang ditunjuk sebagai nilai optimum tidak masuk didalam *orthogonal array*. Tes konfirmasi eksperimen selanjutnya dibandingkan hasilnya dengan nilai prediksi.



Konfirmasi eksperimen ini dilakukan pada kombinasi parameter proses yang memberikan nilai optimum dan satu kombinasi lain untuk mengetahui apakah realitas nilainya sesuai dengan nilai prediksi hasil pengujian dengan menggunakan *Artificial Neural Network*. Masing-masing percobaan dilakukan pengulangan pengambilan data sebanyak lima kali.

Dari hasil optimasi dengan menggunakan metode Taguchi kombinasi parameter proses yang memberikan nilai optimum yaitu $A_1B_1C_2$ dengan parameter komposisi 20% wtSn, tekanan kompaksi 450 MPa dan pada temperatur sintering 500 °C, yang akan diberi kode 1. Kombinasi ini juga ditunjuk sebagai kombinasi yang optimum pada hasil pengujian dengan metode *artificial neural network* (ANN). Yang selanjutnya untuk mengetahui kemampuan pembelajaran ANN dilakukan juga konfirmasi eksperimen pada kombinasi yang lain, yaitu $A_1B_3C_2$ dengan parameter komposisi 20% wtSn, tekanan kompaksi 750 MPa dan pada temperatur sintering 500 °C, yang akan diberi kode 2. Kombinasi ini dipilih untuk dibandingkan nilai FF hasil pengujian di ANN dengan realita.

4.5 1 Hasil pengujian densitas

Dalam perhitungan nilai *frangibility factor* salah satu factor yang mempengaruhi adalah nilai densitas. Dalam metalurgi serbuk, ada beberapa jenis densitas diantaranya *green density* dan *sinter density*. *Green density* merupakan densitas yang didapatkan setelah proses kompaksi, sedangkan *sinter density* adalah densitas yang didapatkan setelah proses sintering.

Metode yang digunakan untuk melakukan pengukuran adalah metode Archimides. Yaitu dengan cara mengukur volume sampel saat melayang didalam air. Hasil pengujian *green density* dan *sinter density* pada pellet dan proyektil ditunjukkan pada Tabel 4.17 dan 4.18



Tabel 4.17 Hasil pengujian *Green Density* dan *Sinter density* pelet

Kode	Densitas Pellet (kg.m^{-3})		Massa (gr)	
	Green	Sinter	Green	Sinter
1A	7,22200	7,28655	5,5412	5,5392
1B	7,24770	7,31851	5,5550	5,5521
1C	7,16728	7,20735	5,5464	5,5434
2A	7,96390	7,95764	5,5190	5,5145
2B	7,99277	7,96276	5,5334	5,5308
2C	8,05619	7,98956	5,5052	5,5005

Tabel 4.18 Hasil pengujian *Green Density* dan *Sinter density* proyektil

Kode	Densitas Proyektil (kg.m^{-3})		Massa (gr)	
	Green	Sinter	Green	Sinter
1A	7,17375	7,22374	6,2525	6,2520
1B	7,31876	7,34563	6,2301	6,2287
1C	7,23640	7,25321	6,2449	6,2290
1D	7,22956	7,26437	6,2219	6,2206
1E	7,21743	7,24318	6,2091	6,2046
1F	7,19687	7,21987	6,2220	6,2162
1G	7,25332	7,28439	6,2272	6,2261
1H	7,16729	7,21642	6,2099	6,2028
2A	7,58497	7,58964	6,2066	6,2023
2B	7,61346	7,64289	6,1769	6,1731
2C	7,68539	7,68945	6,2435	6,2382
2D	7,63987	7,64327	6,2233	6,2183
2E	7,59768	7,60376	6,2008	6,1946
2F	7,62754	7,63176	6,2087	6,2023
2G	7,64298	7,64598	6,2014	6,1948
2H	7,65096	7,6538	6,2255	6,2182

Dari Tabel 4.17 dan 4.18 didapatkan nilai *sinter density* rata-rata pada kode 1 untuk pellet $7,2707 \text{ kg.m}^{-3}$ adalah dan $7,2563 \text{ kg.m}^{-3}$ untuk proyektil. Berdasarkan standar paten Benini, 2001 mengenai peluru frangible disebutkan bahwa rentang



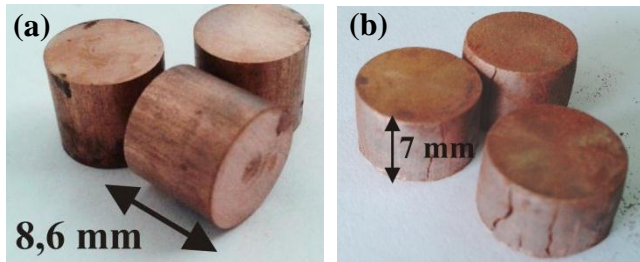
densitas yang diizinkan adalah $6.530 \text{ kg/m}^3 - 7.270 \text{ kg/m}^3$. Hasil uji *sinter density* pada proyektil ini sudah mendekat nilai standart peluru frangible.

4.5.2 Hasil pengujian Kompresi

Sampel yang berbentuk silinder atau istilahnya pellet, setelah proses uji densitas sinter proses selanjutnya adalah dilakukan pengujian kompresi. Uji kompresi dilakukan di Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi. Jumlah sampel yang di uji kompresi sebanyak 6 buah.

Pengujian tekan dilakukan sebagai pengganti pengujian tarik, karena sampel uji yang digunakan memiliki ukuran terlalu kecil. Pada proses pengujian tekan sampel yang digunngkan menggunakan perbandingan tinggi dan diameternya 0.8:1, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13.a.

Dalam uji kompresi, perilaku material ketika mendapat tekanan akan mengalami dua hal kemungkinan, yaitu *buckling* untuk sampel yang memiliki perbandingan tinggi silinder lebih besar dari pada diameter dan *barreling* untuk sampel yang memiliki diameter lebih panjang dibandingkan tinggi silinder. Sampel yang telah mengalami uji kompresi dalam penelitian ini mengalami *barreling*. *Buckling* merupakan tipe (*failure*) kerusakan yang dapat dilihat dari defleksi material kearah samping akibat adanya pembebanan. Sedangkan *barreling* adalah bentuk sampel yang cembung dan terdeformasi pada bagian samping saat dilakukan pengujian (Vuri, 2012). Sampel uji kompaksi ditunjukkan pada Gambar 4.14.b



Gambar 4.14 Sampel uji kompresi a). Sebelum uji b). setelah uji (*barreling*)

Sistem pembebanan yang diberikan pada sampel akan dihentikan setelah sampel mengalami kerusakan, yang ditunjukkan dengan adanya penurunan *load*. Dari hasil pengujian data hasil uji kompresi ditunjukkan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Data Hasil Uji Kompresi

Kode	Kekuatan Tekan (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)	ϵd_{\max}
1A	246,33	57527,81417	0,004282
1B	247,35	57599,17397	0,004294
1C	249,20	57728,07719	0,004317
2A	327,83	62678,31157	0,005230
2B	329,11	62751,62900	0,005245
2C	332,96	62970,95789	0,005288

Modulus kompresi dan ϵd_{\max} (*maximal relative compression*) merupakan faktor yang berperan utama dalam menentukan nilai *Frangibility Factor*. Hal ini sesuai dengan persamaan 2.14 dan 2.15, bahwa kedua nilai ini berbanding lurus terhadap nilai v_{lim} .

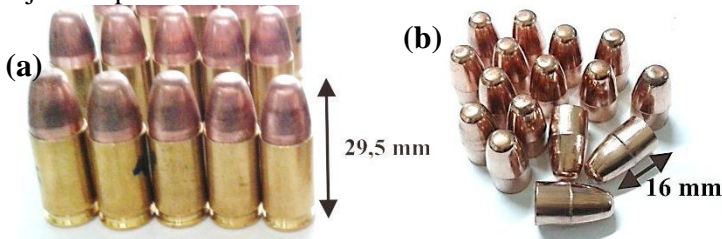
4.5.3 Hasil pengujian balistik

Pengujian balistik harus dilakukan untuk mengetahui kualitas dan keamanan objek balistik. Objek pengujian balistik antara lain proyektil, kelongsong, mesin tembak otomatis (*fixed*



barrel), *handgun*, dan sasaran tembak. Pengujian balistik dilakukan di PT. Pindad, Turen Malang.

Dalam penelitian ini dimensi proyektil yang diizinkan adalah 9,02-9,04 mm yang mengacu pada model, spesifikasi jenis proyektil ini ditunjukkan pada lampiran. Namun dimensi sampel proyektil yang dihasilkan dalam eksperimen ini memiliki diameter 9,07-9,18 mm. Dimensi ini diperoleh karena diameter lubang pada dies 9,2 mm dan terjadi *shrinkage* saat proses sintering, sehingga perlu dilakukan pengurangan diameter proyektil. Sampel yang digunakan untuk pengujian kecepatan ditunjukkan pada Gambar 4.15



Gambar 4.15 a) Sampel Proyektil siap uji; b) balistik Sampel proyektil hasil kompaksi

Mengacu dari penelitian sebelumnya, untuk mendapatkan kecepatan awal saat keluar dari laras adalah ± 380 m/s, dengan spesifikasi proyektil ITS massa propelan yang dimasukkan adalah 0,290-0,295 gr. Jumlah sampel proyektil untuk uji balistik adalah 18 buah. Sebanyak 10 sampel yang akan digunakan untuk uji kecepatan dan 6 sampel untuk uji fragmen.

Untuk pengujian kecepatan dilakukan pada lorong tembak 200 m dan menggunakan mesin tembak otomatis, hal ini dilakukan untuk meminimalisir adanya pengaruh *human error*. Sedangkan untuk uji fragmen dilakukan pada lorong tembak 25m dengan jarak tembak 15 m. Hasil uji kecepatan ditunjukkan pada Tabel 4.20



Tabel 4.20 Data Hasil Uji Kecepatan

Kode	Kecepatan proyektil (m/s) pada jarak ke (m)					
	0	2	5	10	15	25
1A	376,65	374,46	371,17	365,69	360,21	349,25
1B	380,75	378,43	374,94	369,13	363,31	351,69
1C	382,52	380,26	376,87	371,23	365,58	354,29
1D	391,68	389,26	385,62	379,55	373,48	361,35
1E	382,08	379,81	376,41	370,75	365,08	353,75
Mean	382,736	380,444	377,002	371,27	365,532	354,066
2A	345,99	344,53	342,33	338,66	334,99	327,65
2B	357,99	355,94	352,87	347,74	342,62	332,36
2C	356,71	354,66	351,59	346,46	341,34	331,09
2D	359,72	357,72	354,73	349,74	344,75	334,77
2E	366,48	364,35	361,15	355,83	350,5	339,85
Mean	357,378	355,44	352,534	347,686	342,84	333,144

Dari Tabel 4.20 dapat dilihat bahwa kecepatan peluru saat jarak 0 m dari laras mengalami perbedaan, sekalipun jumlah propelan yang dimasukkan sama. Banyak faktor yang mempengaruhi nilai ini, baik propertis proyektil, kekuatan cengkraman selongsong terhadap proyekti maupun alat tembak.

4.5.4 Hasil Analisis Uji Balistik terhadap *Frangibility Factor*

Frangibility merupakan kemampuan suatu peluru *frangible* pecah menjadi bagian-bagian setelah menghantam benda yang keras. Nilai *frangibility factor* ditentukan oleh besar energi kinetik pada jarak 2 m dan energi kinetik batas ($E_{k,lim}$). Dimana nilai energi kinetik pada jarak 2 m diperoleh dari pengujian balistik sedangkan nilai energi kinetik batas murni diperoleh dari sifat proyektil dan kekakuan target tanpa adanya pengaruh nilai kecepatan hasil pengujian balistik.



Nilai *Frangibility factor* (FF) tidak bisa diperoleh langsung dari pengujian, tetapi diperoleh dari beberapa perhitungan dari persamaan yang telah disebutkan pada bab II.

Hasil perhitungan nilai FF selanjutnya ditunjukkan pada Tabel 4.21

Tabel 4.21 Data Hasil perhitungan nilai FF

Kode	Nilai FF	Kode	Nilai FF
1A	19,04248	2A	15,69379
1B	19,01470	2B	16,67162
1C	19,19997	2C	16,72649
1D	20,09245	2D	16,96208
1E	19,07953	2E	17,52959
Mean	19,29	Mean	16,72

Dari Tabel 4.21 hasil perhitungan nilai FF bisa dilihat untuk kode 1 memiliki nilai rata-rata 19,29. Hal ini sesuai dengan prediksi optimasi Taguchi dan *neural network* bahwa kombinasi parameter proses ini menunjukkan nilai FF yang optimum. Nilai optimum disini berlaku untuk rentang level yang digunakan penulis dalam mengambil sumber data sekunder untuk pengujian optimasi.

4.6 Perhitungan *Confidence Interval*

Confidence Interval atau selang kepercayaan digunakan untuk menjelaskan kesesuaian eksperimen konfirmasi terhadap hasil optimasi. Hasil percobaan konfirmasi dikatakan sesuai dengan hasil optimasi variabel respon jika rata-rata hasil percobaan konfirmasi masuk dalam selang kepercayaan taksiran rata-rata respon pada kondisi optimum, atau apabila selang kepercayaan rata-rata hasil percobaan dengan taksiran rata-rata hasil percobaan konfirmasi saling berpotongan.

Nilai selang kepercayaan untuk karakteristik kualitas dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut

$$CI = \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \times V_e \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$



Dengan;

$F_{\alpha, v1, v2}$: tabel F rasio dari ANOVA

α : resiko, level kepercayaan =1-resiko

$v1$: derajat bebas untuk rata-rata dan nilainya selalu 1
untuk interval kepercayaan

$v2$: derajat bebas untuk *pooled error variance*

V_e : variasi kesalahan gabungan (*pooled error variance*)

n_{eff} : jumlah pengamatan

r : jumlah sampel untuk eksperimen konfirmasi

4.6.1 Selang Kepercayaan Data Sekunder Pengujian

Data sekunder yang digunakan untuk pengujian Taguchi maupun *Neural Network*, kemudian dilakukan perhitungan selang kepercayaan. Berikut ini perhitungan selang kepercayaan kondisi optimal untuk nilai rata-rata dan juga untuk nilai mean dan juga untuk nilai SNR.

1. Prediksi selang kepercayaan kondisi optimal untuk nilai mean

a. Prediksi kondisi optimal

Perhitungan prediksi optimum nilai FF dari proses optimasi dengan Taguchi

$$\mu_{prediksi} = A_1 + B_1 + C_2 - 2T$$

$$\mu_{prediksi} = 18,43 + 18,50 + 18,41 - 2 \times 17,81626$$

$$\mu_{prediksi} = 19,70$$

b. Perhitungan selang kepercayaan

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \times V_e \times \left[\frac{1}{n_{eff}} \right]}$$

Dengan n_{eff}

$$n_{eff} = \frac{\text{total number of experimen}}{\text{sum of degree of freedom used in estimate of mean}}$$

$$n_{eff} = \frac{9}{1 + 2 + 2 + 2}$$

$$n_{eff} = 1,2857$$



Maka perhitungan selang kepercayaan sebagai berikut

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{5,41 \times 0,05375 \times \left[\frac{1}{1,2857} \right]}$$

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{0,22617}$$

$$CI_{mean} = \pm 0,475$$

Didapatkan selang kepercayaan nilai rata-rata optimal

$$\mu_{prediksi} - CI_{mean} \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI_{mean}$$

$$19,70 - 0,475 \leq \mu_{prediksi} \leq 19,70 + 0,475$$

$$19,224 \leq \mu_{prediksi} \leq 20,175$$

2. Perkiraan selang kepercayaan kondisi optimal nilai SNR

a. Prediksi kondisi optimal

Perhitungan prediksi optimum nilai FF dari proses optimasi dengan Taguchi

$$\eta_{prediksi} = A_1 + B_1 + C_2 - 2T$$

$$\eta_{prediksi} = 25,28 + 25,29 + 25,25 - 2 \times 24,96$$

$$\eta_{prediksi} = 25,90$$

b. Perhitungan selang kepercayaan

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \times V_e \times \left[\frac{1}{n_{eff}} \right]}$$

Dengan n_{eff}

$$n_{eff} = \frac{\text{total number of experimen}}{\text{sum of degree of freedom used in estimate of mean}}$$

$$n_{eff} = \frac{9}{1 + 2 + 2 + 2}$$

$$n_{eff} = 1,2857$$



Maka perhitungan selang kepercayaan sebagai berikut

$$CI_{SNR} = \pm \sqrt{5,41 \times 0,01054 \times \left[\frac{1}{1,2857} \right]}$$

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{0,04435}$$

$$CI_{mean} = \pm 0,2159$$

Didapatkan selang kepercayaan nilai rata-rata optimal

$$\eta_{prediksi} - CI_{SNR} \leq \eta_{prediksi} \leq \eta_{prediksi} + CI_{SNR}$$

$$25,90 - 0,2159 \leq \eta_{prediksi} \leq 25,90 + 0,2159$$

$$25,68 \leq \eta_{prediksi} \leq 26,11$$

3. Prediksi selang kepercayaan kondisi optimal untuk nilai mean hasil metode *Neural Network*

a. Prediksi kondisi optimal

Perhitungan prediksi optimum nilai FF dari proses optimasi dengan Taguchi

$$\mu_{prediksi} = 19,02$$

b. Perhitungan selang kepercayaan

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \times V_e \times \left[\frac{1}{n_{eff}} \right]}$$

Dengan n_{eff}

$$n_{eff} = \frac{\text{total number of experimen}}{\text{sum of degree of freedom used in estimate of mean}}$$

$$n_{eff} = \frac{18}{1 + 2 + 2 + 2}$$

$$n_{eff} = 2,57$$

Maka perhitungan selang kepercayaan sebagai berikut

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{3,34 \times 0,0438 \times \left[\frac{1}{2,57} \right]}$$



$$CI_{mean} = \pm\sqrt{0,056992}$$

$$CI_{mean} = \pm 0,238$$

Didapatkan selang kepercayaan nilai rata-rata optimal

$$\mu_{prediksi} - CI_{mean} \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI_{mean}$$

$$19,02 - 0,238 \leq \mu_{prediksi} \leq 19,02 + 0,238$$

$$18,78 \leq \mu_{prediksi} \leq 19,258$$

4. Prediksi selang kepercayaan kondisi optimal untuk nilai mean hasil metode *Neural Network* perlakuan 2

c. Prediksi kondisi optimal

Perhitungan prediksi optimum nilai FF dari proses optimasi dengan Taguchi

$$\mu_{prediksi} = 17,80$$

d. Perhitungan selang kepercayaan

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \times V_e \times \left[\frac{1}{n_{eff}} \right]}$$

Dengan n_{eff}

$$n_{eff} = \frac{\text{total number of experimen}}{\text{sum of degree of freedom used in estimate of mean}}$$

$$n_{eff} = \frac{18}{1 + 2 + 2 + 2}$$

$$n_{eff} = 2,57$$

Maka perhitungan selang kepercayaan sebagai berikut

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{3,34 \times 0,0438 \times \left[\frac{1}{2,57} \right]}$$

$$CI_{mean} = \pm\sqrt{0,056992}$$

$$CI_{mean} = \pm 0,238$$



Didapatkan selang kepercayaan nilai rata-rata optimal

$$\mu_{prediksi} - CI_{mean} \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI_{mean}$$

$$17,80 - 0,238 \leq \mu_{prediksi} \leq 17,80 + 0,238$$

$$17,56 \leq \mu_{prediksi} \leq 18,03$$

4.6.2 Selang Kepercayaan Data Konfirmasi Eksperimen

Konfirmasi eksperimen dilakukan dilaksanakan dengan melakukan suatu pengujian yang menggunakan kombinasi parameter tertentu (*setting level optimal*) dari faktor-faktor yang dan level hasil evaluasi sebelumnya. Tujuan dari eksperimen konfirmasi adalah untuk mevalidasi terhadap kesimpulan yang diperoleh dari eksperimen tahap awal dengan menggunakan lima sampel. Yang ditunjukkan pada Tabel 4.21 perhitungan nilai FF.

Setelah mendapatkan hasil dari tabel perhitungan nilai FF, selanjutnya yaitu menghitung nilai rata-rata hingga mendapatkan selang kepercayaan guna dibandingkan dengan selang kepercayaan kondisi optimal. Berikut perhitungan nilai untuk mean dan juga SNR.

1. Selang kepercayaan hasil eksperimen untuk nilai mean

a. Perhitungan nilai rata-rata

$$\mu_{eksperimen} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 y_i$$

$$\mu_{eksperimen} = \frac{1}{5} (19,04 + 19,01 + 19,19 + 20,09 + 19,07)$$

$$\mu_{eksperimen} = 19,29$$

b. Perhitungan selang kepercayaan

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \times V_e \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

Maka perhitungan selang kepercayaan sebagai berikut



$$CI_{mean} = \pm \sqrt{5,41 \times 0,05375 \times \left[\frac{1}{1,2857} + \frac{1}{5} \right]}$$

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{0,284327}$$

$$CI_{mean} = \pm 0,53322$$

Didapatkan selang kepercayaan nilai rata-rata optimal

$$\mu_{eksperimen} - CI_{mean} \leq \mu_{eksperimen} \leq \mu_{eksperimen} + CI_{mean}$$

$$19,29 - 0,53322 \leq \mu_{eksperimen} \leq 19,29 + 0,53322$$

$$18,76 \leq \mu_{eksperimen} \leq 19,78$$

2. Perkiraan selang kepercayaan kondisi optimal nilai SNR

a. Perhitungan nilai SNR

$$\eta_{eksperimen} = -10 \log \left| \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \frac{1}{y^2} \right|$$

$$\eta_{eksperimen} = -10 \log \left| \frac{1}{5} \left(\frac{1}{19,04^2} + \frac{1}{19,01^2} + \frac{1}{19,19^2} + \frac{1}{20,09^2} + \frac{1}{19,07^2} \right) \right|$$

$$\eta_{eksperimen} = 25,69$$

b. Perhitungan selang kepercayaan

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \times V_e \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

Maka perhitungan selang kepercayaan sebagai berikut

$$CI_{SNR} = \pm \sqrt{5,41 \times 0,01054 \times \left[\frac{1}{1,2857} + \frac{1}{5} \right]}$$

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{0,0557547}$$

$$CI_{mean} = \pm 0,23612$$



Didapatkan selang kepercayaan nilai rata-rata optimal

$$\eta_{prediksi} - CI_{SNR} \leq \eta_{prediksi} \leq \eta_{prediksi} + CI_{SNR}$$

$$25,69 - 0,23612 \leq \eta_{prediksi} \leq 25,69 + 0,23612$$

$$25,45 \leq \eta_{prediksi} \leq 25,93$$

3. Selang kepercayaan hasil eksperimen untuk nilai mean perlakuan 2

a. Perhitungan nilai rata-rata

$$\mu_{eksperimen} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 y_i$$

$$\mu_{eksperimen} = \frac{1}{5} (15,69 + 16,67 + 16,72 + 16,96 + 17,52)$$

$$\mu_{eksperimen} = 16,72$$

b. Perhitungan selang kepercayaan

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \times V_e \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

Maka perhitungan selang kepercayaan sebagai berikut

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{3,34 \times 0,0438 \times \left[\frac{1}{2,57} + \frac{1}{5} \right]}$$

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{0,08616}$$

$$CI_{mean} = \pm 0,2935$$

Didapatkan selang kepercayaan nilai rata-rata optimal

$$\mu_{eksperimen} - CI_{mean} \leq \mu_{eksperimen} \leq \mu_{eksperimen} + CI_{mean}$$

$$16,72 - 0,2935 \leq \mu_{eksperimen} \leq 16,72 + 0,2935$$

$$16,42 \leq \mu_{eksperimen} \leq 17,013$$

Hasil perhitungan *Confidence Interval* untuk kondisi optimal dan nilai konfirmasi ditunjukkan pada Tabel 4.22



Tabel 4.22 Hasil perhitungan *Confidence interval*

Nilai	<i>Confidence Interval</i>	
	Nilai Optimal hasil prediksi	Hasil Konfirmasi eksperimen
Mean Taguchi	$19,224 \leq \mu \leq 20,175$	$18,76 \leq \mu \leq 19,78$
Mean NN	$18,78 \leq \mu \leq 19,258$	$18,76 \leq \mu \leq 19,78$
SNR Taguchi	$25,68 \leq \eta \leq 26,11$	$25,45 \leq \eta \leq 25,93$
Mean NN data 2	$17,56 \leq \mu \leq 18,03$	$16,42 \leq \mu \leq 17,013$

Selanjutnya untuk mempermudah melakukan interpretasi dari hasil perhitungan selang kepercayaan digambarkan dalam Tabel 4.23

Tabel 4.23 Perbandingan nilai *Confidence interval*

Nilai	Perbandingan	Keterangan	Keputusan
Mean Nilai Optimu	19,22 —●—●— 20,17	Prediksi	Diterima
	18,78 —●—●— 19,25	NN	
	18,76 —●—●— 19,78	Eksperimen	
SNR Nilai Optimum	25,68 —●—●— 26,11	Prediksi	Diterima
	25,45 —●—●— 25,93	Eksperimen	
Mean Perlakuan 2	17,56 —●—●— 18,03	Prediksi	Ditolak
	16,42 —●—●— 17,01	Eksperimen	

Dari Tabel 4.23 dapat dilihat bahwa terjadi persinggungan nilai *confidence interval* untuk *predicted mean* dan SNR dengan eksperimen konfirmasi, sehingga eksperimen dapat diterima.



4.7 Pembahasan

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai optimasi dengan menggunakan metode Taguchi dan *Neural Network*. Dengan metode Taguchi karakteristik kualitas yang diharapkan adalah *higher the better*, yang artinya nilai FF diharapkan semaksimal mungkin. Metode *Neural Network* melakukan optimasi dengan melakukan prediksi nilai FF dari beberapa kombinasi parameter proses sebagai data input. Dalam sub bab ini akan dibahas perbandingan hasil optimasi dengan metode Taguchi dan *Neural Network*, analisis hasil eksperimen konfirmasi dan pengaruh masing-masing parameter proses terhadap nilai FF.

4.7.1 Metode Optimasi Taguchi dan *Neural Network*

Metode optimasi dengan Taguchi dilakukan berdasarkan *orthogonal array* yang telah ditentukan sebelumnya dengan tujuan mendapatkan kombinasi *setting level* yang menghasilkan nilai FF optimum dan besar pengaruh masing-masing parameter proses. Dengan menggunakan karakteristik kualitas *higher the better* yang artinya diharapkan respon nilai FF adalah sebesar-besarnya, memberikan kombinasi *setting level* yang optimal pada kombinasi $A_1B_1C_2$. Dari Tabel 4.9 hasil perhitungan ANOVA untuk mean memberikan nilai koefisien determinasi (R^2) 0,93515. Nilai R^2 menunjukkan pengaruh variabel yang digunakan didalam model sebesar 93,515% terhadap variabel terikatnya atau nilai FF, sedangkan 6,49% dipengaruhi faktor lain diluar model yang artinya desain ini bisa digunakan. Dari hasil uji ANOVA berdasarkan uji f, nilai F rasio masing-masing parameter memiliki nilai yang lebih besar dari pada F tabel ($F_{0,05;3;5} = 5,41$). Yang artinya secara simultan variabel yang digunakan yaitu komposisi Sn, tekanan kompaksi dan temepatur sintering berpengaruh secara bersama-sama atau simultan terhadap nilai FF.

Aplikasi model *Neural Network* untuk memprediksi nilai FF yang optimum menggunakan model *backpropagation neural network* dengan 3 input (3 parameter proses yaitu : komposisi Sn, tekanan kompaksi, dan temperatur sintering), 1 *hidden layer*



(dengan 5 neuron) dan 1 output. Dengan proses pembelajaran sebanyak 50 kali diperoleh nilai Koefisien korelasi (R^2) rata-rata untuk 50 kali pelatihan sebesar 0,949. Dengan nilai R^2 0,949 menunjukkan hubungan antara variabel input (variabel bebas) mempunyai hubungan langsung positif baik, artinya data saling berkorelasi. Pada Tabel 4. 14 menunjukkan nilai *Mean Square Error* selama 50 kali pelatihan 1,3%. Nilai kesalahan yang dihasilkan sangat kecil, nilai ini menunjukkan bahwa kesalahan antara model actual dan hasil simulasi masih dibawah toleransi. Dari hasil uji kesuaian model dari Gambar 4.5 dan 4.6 ACF dan PACF terlihat bahwa semua lag berada dalam selang kepercayaan, berarti error bersifat random atau independen. Sehingga model *Feedforward Neural Network* dengan algoritma *Backpropagation* yang dibangun dari 5 neuron pada *hidden layer* dengan input x_1 , x_2 , x_3 dapat digunakan sebagai model pengujian nilai FF.

Dari proses optimasi dengan menggunakan metode Taguchi menghasilkan nilai *setting* level parameter yang optimum pada kombinasi $A_1B_1C_2$ dengan parameter komposisi 20% wtSn, tekanan kompaksi 600 MPa dan temperatur sintering 500 °C. Dengan menggunakan metode *Neural Network* (NN) memberikan hasil optimasi pada kombinasi yang sama. Kelebihan dari metode ini adalah mampu memprediksi data dengan hanya masukan atau input data untuk training yang sedikit. Namun besar nilai FF yang berbeda, pada Taguchi disebutkan nilai FF yang optimum mencapai 19,70 sedangkan pada NN dihasilkan nilai FF sebesar 19,02. Selisih ini terjadi karena pada tahapan pengolahan data di NN mengalami proses normalisasi data dengan selang 0-1, dimana 0 untuk nilai FF 16,50 dan 1 untuk nilai FF 19,20. Sehingga saat proses tranformasi data hasil prediksi NN terikat pada selang 16,50-19,20.

Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan menggunakan *setting* optimal. Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan replikasi sebanyak 5 kali. Dari perhitungan *confidence interval* pada tabel 4.x memberikan perbandingan *interval* yang saling



bersinggungan. Hal ini menunjukkan bahwa dari proses optimasi setting level parameter dengan menggunakan metode Taguchi dan *Neural Network* untuk karakteristik nilai *higher the better* secara simultan dapat diterapkan dilapangan.

4.7.2 Pengaruh parameter proses terhadap nilai FF

Desain eksperimen dengan menggunakan metode Taguchi selain untuk mengetahui kombinasi *setting* parameter yang optimum juga bisa untuk mengetahui besar pengaruh masing-masing faktor terhadap nilai respon. Besar pengaruh masing-masing faktor juga bisa dilihat dari Tabel 4.9 hasil perhitungan ANOVA untuk mean bahwa besar kontribusi untuk tekanan kompaksi mencapai 46%, komposisi Sn 24,14% dan temperatur sintering 22,37%. Pengaruh kombinasi parameter proses secara langsung juga bisa dilihat dari nilai *f* hitung yang lebih besar dari pada *f* tabel.

Pengaruh tekanan kompaksi terhadap sifat peluru Frangible bisa dilihat dari peranan kompaksi dalam memberikan efek deformasi lokal antar kontak yang memberikan efek *stain hardening* dan memungkinkan untuk terjadi kontak baru membentuk jarak antar partikel yang semakin dekat. dalam meningkatkan kekuatan, densitas, bentuk dan kontrol dimensi (German, 1984). Karena karakteristik peluru *frangible* dipengaruhi oleh sifat mekanik peluru, dimensi peluru, dan bentuk peluru. Frangibilitas meningkat ketika kekuatan dan ketangguhan dari material menurun (Rydlo, 2010). Pengaruh tiga faktor yang dijadikan dalam parameter proses penelitian ini sebenarnya memberikan kontribusi secara langsung terhadap sifat peluru Frangible. Bentuk pengaruh komposisi % wtSn dan tekanan kompaksi telah dijelaskan sebelumnya pada pengaruhnya terhadap densitas. Efek dari temperatur sintering secara umum adalah berkontribusi terhadap pergerakan atom membentuk formasi untuk menyatukan ikatan antar partikel. Material akan meningkat kekuatannya dan sifat yang lain (German, 1984).



Peningkatan sifat mekanik ini juga dipengaruhi oleh senyawa fasa kedua atau fasa intermetalik yang terbentuk (Handik, 2014). Fasa intermetalik terbentuk selama proses sintering, kehadiran fasa liquid (*melting* Sn) berperan pada proses wetting dan akan membentuk ikatan pendular yang akan meningkatkan kekuatan ikatan interpartikel (German, 1984). Nama fasa intermetalik yang terbentuk bertindak sebagai material yang pengikat (*binder*) yang brittle antar partikel tembaga yang tidak berikatan secara metalurgi (Banovic, 2008).

Pada penelitian yang telah dilakukan Anugraha, 2014 disebutkan bahwa semakin meningkatnya temperatur sintering semakin meningkatkan kekuatan dan modulus elastisitas dari komposit Cu-10 wt% Sn. Peningkatan nilai *compressive strength* yang signifikan yaitu 617,82 MPa pada temperatur sinter 600 °C dan 206,57 MPa pada temperatur 200 °C. Hal ini memberikan kesimpulan yang berbeda terhadap Tabel 4.9 pada kolom persen kontribusi faktor terhadap nilai FF. Perbedaan faktor yang berpengaruh disini terjadi karena level yang digunakan pada penelitian Anugraha memiliki rentang yang lebar, bila dibandingkan level yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu variasi yang digunakan hanya pada rentang 200-300 °C.

Pada temperatur proses 260-300 °C terbentuk fasa Cu₃Sn (*ε-phase*) dan Cu₆Sn₅ (*η-phase*). Sedangkan Pada temperatur sintering 500 dan 600 °C terbentuk senyawa intermetalik Cu₄₁Sn₁₁ dan Cu₁₀Sn₃ (Liu et al, 2012). Perbedaan sifat mekanik fasa kedua inilah yang memberikan pengaruh signifikan sampel pada rentang temperatur yang diterimanya. Ketika temperatur dinaikkan hingga temperatur *melting* Sn, Cu akan berdifusi ke *liquid* Sn secara cepat dan *Inter Metallic Compound* IMC tumbuh lebih cepat dari pada difusi *solid-phase*. Dan IMC terbentuk dibawah *melting point* Sn. Pada temperatur proses 260-300 °C terbentuk fasa Cu₃Sn (*ε-phase*) dan Cu₆Sn₅ (*η-phase*) Fasa intermetalik yang terbentuk berperan sebagai pengikat yang *brittle* antar partikel Cu yang tidak berikatan (Banovic, 2007).



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini menjelaskan tentang hasil kesimpulan dari pembahasan kemampuan metode Taguchi dan *Neural Network* dalam penentuan *setting* level optimal.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan berdasarkan proses optimasi metode Taguchi dengan karakteristik kualitas *higher the better* dan prediksi nilai FF dengan *Neural Network*(NN) diperoleh kesimpulan, yaitu:

1. Dari hasil perhitungan ANOVA untuk nilai *mean* pada Taguchi menunjukkan bahwa faktor tekanan kompaksi yang paling berpengaruh sebesar 45,49%, komposisi Sn 27,65% dan temperatur *sintering* 21,65%.
2. Dari hasil optimasi nilai FF diperoleh hasil optimasi *setting* level parameter yang sama yaitu pada kombinasi 20%wt Sn, tekanan kompaksi 600 MPa dan temperatur *sintering* 500 °C dengan prediksi nilai FF dari Taguchi 19,70 dan NN nilai FF 19,02.
3. Dari hasil uji *Confidence Interval* nilai FF hasil eksperimen konfirmasi dengan nilai prediksi dari optimasi Taguchi dan NN menunjukkan *interval* yang saling berhimpit, hal ini menunjukkan bahwa metode Taguchi dan NN mampu untuk melakukan optimasi nilai FF.

5.2 Saran

Adapun saran untuk mengoptimalkan hasil dari penelitian ini adalah

1. Mencoba menggunakan metode optimasi yang lain untuk bisa mengetahui nilai FF diluar level yang digunakan dalam penelitian ini.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1969 *Propellant Manufacture, Hazard and Testing*. American Sociaty. Washington DC.
- _____. 1992. **ASM Metal Handbook Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials**. Ohio: ASM International
- _____. 1998. **ASM Metal Handbook Volume 7 Powder Metal Technologies and Applications**. Ohio: ASM International
- _____. 2010. Draft RUU Senjata Api, Mabes Polri.
- Abdoli, H., Faranoush H., Silahi E., dan Pourazrang K. July. 2008. "Study of The Densification of A Nanostructured Composite Powder". **Materials Science & Engineering A**, Volume 486, issue 1-2, p. 580-584.
- Agarwal, N., 2003. "**Microstructural and Microhardness Studies of Microwave Sintered Cu-12Sn Bronze Alloys**". India: Indian Institute of Technolog.
- Akhbari, M. 2014. "**Artificial Neural Network and Optimization**". Iran University of Science and Technology". Elsevier Montgomery, D. C. 2012. "**Design and Analysis of Experiments (8th edition)**". Arizona State: John Wiley & Sons, Inc.
- Anthony, M. and Bartlett, P.L. 2009. "**Neural Network Learning: Theoretical Foundations**", Cambridge : Cambridge University Press .
- Anugraha, V. Widyastuti. 2014. "**Pengaruh Komposisi Sn dan Variasi Tekanan Kompaksi Terhadap Densitas dan Kekerasan Komposit Cu-Sn untuk Aplikasi Proyektil Peluru Frangible dengan Metode Metalurgi Serbuk**". Surabaya: ITS
- Balismono, Ramon. 2008. "**Introduction to Taguchi Methods**".
- Banovic, S.W. 2007. "Microstrutural Characterization and Mechanical Behavior of Cu-Sn Frangible Bullets."



-
- Materials Science and Engineering A** 460-461 (2007) 428-435
- Benini, Joseph C. 2001. **Frangible Metal Bullets, Ammunition, and Method of Making Such Articles**. Amerika Serikat. Nomer Paten : US 6,263,798 B1
- Chien , C.H. , W. Lin , W.B. and Chen , T. (2011). “**Optimal FSW process parameters for aluminum alloys AA5083**”. Journal of the Chinese Institute of Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers, Series A/Chung- kuo Kung Cheng Hsueh Kan , 34 (1): 99 – 105 .
- Elliott, K.H. 2004. **Medium Density Bronze Shot**. Paten Internasional: WO 2004/090464 A1
- Firmansyah, K. Widyastuti. 2015. “**Pengaruh Temperatur Sintering Metode Metalurgi Serbuk Terhadap Frangibility dan Performa Balistik Peluru Frangible Komposit Cu-10% wtSn**”. Surabaya: ITS
- Fitria, Nurul. 2015. “**Optimalisasi Parameter Regresi *Response Surface Methodology* dalam Laba Usaha Pedagang Buah dan Aplikasinya Menggunakan Matlab**”. Jurusan Matematika, Universitas Negeri Malang. Malang
- Flores, E.A. 2011. “Balistic Performance of Multi Layered Metallic Plates Impacted by a 7.62 mm APM2 Projectile”. **International Journal of Impact Engineering**. (38). 1022 - 1032
- Haupt , R.L. and Haupt , S.E. (2004). “**Practical Genetic Algorithms**”. JohnWiley .
- German, Randall M.1984. **Powder Metallurgy Science**. (USA: Metal powder Industries Federation,)
- German, Randall. Suri, Pavan. 2008. “**Review : Liquid Phase Sintering**”. Springer Science + Business Media, LLC 2008.
- Jhony, Paiman., 2014. **Analisa Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Sintering terhadap Ikatan Antar Muka**
-



- pada Komposit Matrik Logamcu-10%wt Sn dengan Metode Metalurgi Serbuk.** Surabaya: ITS
- Joys, J. 2009. **Lead Free Frangible Bullets.** Amerika Serikat. Nomor Paten: US 8,225,718 B2
- Kelter, Rick. 2011. **Cast Bullet Alloys & Alloy Maintenance.** <URL: [www.lasc.us/Kelter Cast Bullet Alloys2.pdf](http://www.lasc.us/Kelter_Cast_Bullet_Alloys2.pdf)>
- Koilraj , M. , Sundareswaran , V. , Vijayan , S. and Koteswara Rao , S.R. (2012). “**Friction stir welding of dissimilar aluminum alloys AA2219 to AA5083 –Optimization of process parameters using Taguchi technique**”. *Materials & Design* , 42 (0): 1 – 7 .
- Kowalczyk, Małgorzata. 2014. “**Application Of Taguchi And Anova Methods In Selection Of Process Parameters For Surface Roughness In Precision Turning Of Titanium. Cracow University of Technology**”. Production Engineering Institut.
- Kruachaturrat, S dkk. 2009. “Sintering Cu-Sn Materials for Frangible Bullets.” **The 3rd Thailand Metallurgy Conference (TMETC-3): Metallurgical Research for Thailand Development.** Bangkok, Thailand.
- Kusumadewi, Felasufah. 2004. **Peramalan Harga Emas Menggunakan Feedforward Neural Network Dengan Algoritma Backpropagation.** Program Studi Matematika Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Kusuma, Widya Intan. 2011. “Aplikasi Model *Backpropagation Neural Network* Untuk Perkiraan Produksi Tebu Pada PT. Perkebunan Nusantara IX”. **Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika.** Yogyakarta, 3 Desember 2011.
- Mikko, Don and Collins John M. 2000. **U.S. Military Green Bullet.** <URL: [http://www.firearmsid.com/Feature Articles/GreenBullets/GreenBullets.htm](http://www.firearmsid.com/Feature_Articles/GreenBullets/GreenBullets.htm)>
- Montgomery, D. C. 2012. “**Design and Analysis of Experiments (8th edition)**”. Arizona State: John Wiley & Sons, Inc.



-
- Nadkarni, Anil V., 2003. **Lead-Free Frangible Bullets and Process for Making Same**. Amerika Serikat Nomor Paten: US 6,536,352 B1
- Nugroho, Anto satriyo. 2003. **“Pengantar Soft Computing”**. IlmuKomputer.Com
- Okuyucu , H. , Kurt , A. and Arcaklioglu , E. (2007). **“Artificial Neural Network Application to The Friction Stir Welding of Aluminum Plates”**. Materials & Design , 28 (1): 78 – 84
- Prasetya, Candra. **Analisa Desain Eksperimen Pembuatan Batako Berbahan Alternatif Lumpur Lapindo Dan Fly Ash Dengan Metode Taguchi**. Teknik Industri universitas Brawijaya. Malang.
- Pontes, Fabricio Jose. 2012. **“Optimization of radial basis function neural network employed for prediction of surface roughness in hard turning process using taguchi’s orthogonal arrays”**. Institute of industrial engineering, federal university of Itajuba, Brazil.
- Rydlo, M. 2010. **“Theoretical Criterion for Evaluation of the Frangibility Factor”**. **Advances in Military Technology** Vol.5, No. 2
- Setiawan, B.I., Rudiyanto. 2004. **“Aplikasi Neural Networks Untuk Prediksi Aliran Sungai”**. Prosiding Semiloka Teknologi Simulasi dan Komputasi serta Aplikasi 2004 – BPPT :Jakarta
- Simon Haykin, 1999. **“Neural Networks: A Comprehensive Foundation, Pearson Education”** cetakan ke-3 di India,.
- Sofyan, B.T. 1996. **Pengaruh Kandungan Sn Dan Variabel Proses Metalurgi Serbuk Terhadap Karakteristik Paduan Dari Serbuk Cu Dan Sn**. Depok
- Sudha, L. Dillibabu, R. (2015). **“Optimization of process parameters in feed manufacturing Using artificial neural network”**. Department of Managemen Studies, College of Engineering Guindy, Anna University, India.
-



-
- Triawati, Nina. 2007. “ **Penentuan *Setting Level Optimal* Untuk Meningkatkan Kualitas Benang Rayon (30r) Dengan Eksperimen Taguchi Sebagai Upaya Jaminan Atas Spesifikasi Kualitas Benang**”. Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Solo.
- Von See, C., K. H. Bormann, P. Schumann, F. Goetz, N.C. Gellrich, dan M. Rücker. “Forensic Imaging of Projectiles Using Cone-Beam Computed Tomography”. **Forensic Sci Int.** 2009 Sep 10;190(1-3):38-41.
- Zaidar, Emma. 2003. “**Nitrogliserin Dapat Digunakan sebagai Bahan Peledak**”. Medan : Universitas Sumatera Utara
- Wibowo. Bilgil, A and Altun, H., 2008. “ Investigation of Flow Resistance in Smooth Open Channels using Artificial Neural Networks”. *Flow Meas Instrum* 19:404–408. Dalam **Penerapan Metode *Artificial Neural Network* (ann) dengan Struktur *Backpropagation* untuk Memprediksi Nilai Koefisien Kekasaran Dasar Saluran**. Semarang Indonesia



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Perhitungan nilai *Signal to Noise* SNR

1. Perhitungan S/N ratio pada nomor ekperimen 1

$$M.S.D = \frac{1}{3} \left[\left(\frac{1}{17,5464} \right)^2 + \left(\frac{1}{19,1899} \right)^2 + \left(\frac{1}{19,1049} \right)^2 \right]$$

$$M.S.D = 0.002901$$

$$\eta = -10. \text{Log}(0.002901)$$

$$\eta = 25,37437$$

2. Perhitungan S/N ratio pada nomor ekperimen 3

$$M.S.D = \frac{1}{5} \left[\left(\frac{1}{16,8419} \right)^2 + \left(\frac{1}{16,4011} \right)^2 + \left(\frac{1}{18,3092} \right)^2 + \left(\frac{1}{17,7186} \right)^2 + \left(\frac{1}{18,0726} \right)^2 \right]$$

$$M.S.D = 0.003295$$

$$\eta = -10. \text{Log}(0.003295)$$

$$\eta = 24,82197$$

3. Perhitungan S/N ratio pada nomor ekperimen 4

$$M.S.D = \frac{1}{5} \left[\left(\frac{1}{18,1937} \right)^2 + \left(\frac{1}{20,0445} \right)^2 + \left(\frac{1}{18,0420} \right)^2 + \left(\frac{1}{18,4423} \right)^2 + \left(\frac{1}{19,4639} \right)^2 \right]$$

$$M.S.D = 0.002832$$

$$\eta = -10. \text{Log}(0.002832)$$

$$\eta = 25,47852$$

4. Perhitungan S/N ratio pada nomor eksperimen 5

$$M.S.D = \frac{1}{5} \left[\left(\frac{1}{16,8785} \right)^2 + \left(\frac{1}{17,9010} \right)^2 + \left(\frac{1}{16,6856} \right)^2 + \left(\frac{1}{17,4538} \right)^2 + \left(\frac{1}{17,1198} \right)^2 \right]$$

$$M.S.D = 0.003383$$

$$\eta = -10. \text{Log}(0.003383)$$

$$\eta = 24,70641$$

5. Perhitungan S/N ratio pada nomor eksperimen 6

$$M.S.D = \frac{1}{5} \left[\left(\frac{1}{15,4914} \right)^2 + \left(\frac{1}{16,5131} \right)^2 + \left(\frac{1}{16,3122} \right)^2 + \left(\frac{1}{16,7801} \right)^2 + \left(\frac{1}{17,3332} \right)^2 \right]$$

$$M.S.D = 0.003694$$

$$\eta = -10. \text{Log}(0.003694)$$

$$\eta = 24,32449$$

6. Perhitungan S/N ratio pada nomor eksperimen 7

$$M.S.D = \frac{1}{5} \left[\left(\frac{1}{15,9638} \right)^2 + \left(\frac{1}{19,0914} \right)^2 + \left(\frac{1}{16,2553} \right)^2 + \left(\frac{1}{19,3744} \right)^2 + \left(\frac{1}{19,5493} \right)^2 \right]$$

$$M.S.D = 0.003147$$

$$\eta = -10. \text{Log}(0.003147)$$

$$\eta = 25,02165$$

7. Perhitungan S/N ratio pada nomor ekperimen 8

$$M.S.D = \frac{1}{5} \left[\left(\frac{1}{16,9598} \right)^2 + \left(\frac{1}{18,1242} \right)^2 + \left(\frac{1}{17,6831} \right)^2 + \left(\frac{1}{15,1037} \right)^2 + \left(\frac{1}{18,6312} \right)^2 \right]$$

$$M.S.D = 0.003397$$

$$\eta = -10. \text{Log}(0.003397)$$

$$\eta = 24,68946$$

8. Perhitungan S/N ratio pada nomor ekperimen 9

$$M.S.D = \frac{1}{5} \left[\left(\frac{1}{15,8067} \right)^2 + \left(\frac{1}{15,6122} \right)^2 + \left(\frac{1}{18,8414} \right)^2 + \left(\frac{1}{16,8761} \right)^2 + \left(\frac{1}{18,7177} \right)^2 \right]$$

$$M.S.D = 0.003457$$

$$\eta = -10. \text{Log}(0.003457)$$

$$\eta = 24,61239$$

Perhitungan ANOVA Nilai Rata-rata

2. Menghitung nilai rata-rata setiap level faktor

a. Nilai rata-rata setiap level faktor A level 2

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

$$\bar{y}_{jk} = \frac{18,8372 + 17,20775 + 16,4860}{3}$$

$$\bar{y}_{jk} = 17,51035$$

b. Nilai rata-rata setiap level faktor A level 3

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

$$\bar{y}_{jk} = \frac{18,0468 + 17,3004 + 17,1708}{3}$$

$$\bar{y}_{jk} = 17,5060$$

c. Nilai rata-rata setiap level faktor B level 1

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

$$\bar{y}_{jk} = \frac{18,6137 + 18,8372 + 18,0468}{3}$$

$$\bar{y}_{jk} = 18,49940$$

d. Nilai rata-rata setiap level faktor B level 2

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

$$\bar{y}_{jk} = \frac{19,2148 + 17,2077 + 18,0468}{3}$$

$$\bar{y}_{jk} = 17,90766$$

e. Nilai rata-rata setiap level faktor B level 3

$$\check{y}_{jk} = \frac{\sum \tilde{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

$$\check{y}_{jk} = \frac{17,4686 + 16,4860 + 18,0468}{3}$$

$$\check{y}_{jk} = 17,04183$$

f. Nilai rata-rata setiap level faktor C level 1

$$\check{y}_{jk} = \frac{\sum \tilde{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

$$\check{y}_{jk} = \frac{18,6137 + 16,4860 + 17,3004}{3}$$

$$\check{y}_{jk} = 18,46672$$

g. Nilai rata-rata setiap level faktor C level 2

$$\check{y}_{jk} = \frac{\sum \tilde{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

$$\check{y}_{jk} = \frac{19,2148 + 18,8372 + 17,1708}{3}$$

$$\check{y}_{jk} = 18,40765$$

h. Nilai rata-rata setiap level faktor C level 3

$$\check{y}_{jk} = \frac{\sum \tilde{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

$$\check{y}_{jk} = \frac{17,4686 + 17,2077 + 18,0468}{3}$$

$$\check{y}_{jk} = 17,57442$$

6. Menghitung sum of square doe to factor

- a. Nilai *sum of square doe to factor* B

$$SS_B = n_{B1} * \overline{B1}^2 + n_{B2} * \overline{B2}^2 + n_{B3} * \overline{B3}^2 - SS_m$$

$$SS_B = (3 * 18,49930^2) + (3 * 17,90766^2) + (3 * 17,04183^2) - 2856.773$$

$$SS_B = 3,22387$$

- b. Nilai *sum of square doe to factor* C

$$SS_C = n_{C1} * \overline{C1}^2 + n_{C2} * \overline{C2}^2 + n_{C3} * \overline{C3}^2 - SS_m$$

$$SS_C = (3 * 17,46672^2) + (3 * 18,40765) + (3 * 17,5744^2) - 2856.773$$

$$SS_C = 1,59121$$

8. Menghitung derajat kebebasan

- a. Nilai derajat kebebasan untuk faktor B

$$DF_B = \text{jumlah level} - 1$$

$$DF_B = 3 - 1$$

$$DF_B = 2$$

- b. Nilai derajat kebebasan untuk faktor C

$$DF_C = \text{jumlah level} - 1$$

$$DF_C = 3 - 1$$

$$DF_C = 2$$

9. Menghitung nilai *mean sum of square*

- a. Nilai *mean sum of square* untuk faktor B

$$MS_B = \frac{SS_B}{DF_B}$$

$$MS_B = \frac{3,22387}{2}$$

$$MS_B = 1,61193$$

- a. Nilai *mean sum of square* untuk faktor C

$$MS_C = \frac{SS_C}{DF_C}$$

$$MS_C = \frac{1,59121}{2}$$

$$MS_C = 0,795606$$

10. Menghitung nilai *F ratio*

- a. Nilai *F ratio* untuk faktor B

$$F_B = \frac{MS_B}{MS_e}$$

$$F_B = \frac{1,61193}{0,0537}$$

$$F_B = 29,9895$$

- b. Nilai *F ratio* untuk faktor C

$$F_C = \frac{MS_C}{MS_e}$$

$$F_C = \frac{0,79560}{0,0537}$$

$$F_C = 14,8019$$

11. Menghitung nilai *pure sum of square*

- a. Nilai *pure sum of square* untuk faktor C

$$SS'_B = SS_B - (DF_B * M_e)$$

$$SS'_B = 3,2238 - (2 * 0,05375)$$

$$SS'_B = 3,1163$$

- b. Nilai *pure sum of square* untuk faktor C

$$SS'_C = SS_C - (DF_C * M_e)$$

$$SS'_C = 1,5912 - (2 * 0,05375)$$

$$SS'_C = 1,4837$$

12. Menghitung nilai *percent contribution*

- a. Nilai *percent contribution* untuk faktor B

$$\rho B = \frac{SS'_B}{SS_t}$$

$$\rho B = \frac{3,1163}{6,6310} * 100\%$$

$$\rho B = 46,99 \%$$

- b. Nilai *percent contribution* untuk faktor C

$$\rho C = \frac{SS'_C}{SS_t}$$

$$\rho C = \frac{1,4837}{6,6310} * 100\%$$

$$\rho C = 22,37 \%$$

Perhitungan ANOVA Nilai Rata-rata

2. Menghitung nilai rata-rata setiap level faktor

a. Nilai rata-rata setiap level faktor A level 2

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

$$\bar{y}_{jk} = \frac{25,4785 + 24,7064 + 24,3244}{3}$$

$$\bar{y}_{jk} = 24,83647$$

b. Nilai rata-rata setiap level faktor A level 3

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

$$\bar{y}_{jk} = \frac{25,02165 + 24,68946 + 24,61239}{3}$$

$$\bar{y}_{jk} = 24,77450$$

c. Nilai rata-rata setiap level faktor B level 1

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

$$\bar{y}_{jk} = \frac{25,3743 + 25,47852 + 25,02165}{3}$$

$$\bar{y}_{jk} = 25,29151$$

d. Nilai rata-rata setiap level faktor B level 2

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

$$\bar{y}_{jk} = \frac{25,66516 + 24,70641 + 24,68946}{3}$$

$$\bar{y}_{jk} = 25,02034$$

- e. Nilai rata-rata setiap level faktor B level 3

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

$$\bar{y}_{jk} = \frac{24,82197 + 24,32449 + 24,61239}{3}$$

$$\bar{y}_{jk} = 24,58628$$

- f. Nilai rata-rata setiap level faktor C level 1

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

$$\bar{y}_{jk} = \frac{25,37437 + 24,32449 + 24,68946}{3}$$

$$\bar{y}_{jk} = 24,79610$$

- g. Nilai rata-rata setiap level faktor C level 2

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

$$\bar{y}_{jk} = \frac{25,66516 + 25,47852 + 24,61239}{3}$$

$$\bar{y}_{jk} = 25,25202$$

- h. Nilai rata-rata setiap level faktor C level 3

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

$$\bar{y}_{jk} = \frac{24,82197 + 24,70641 + 25,02165}{3}$$

$$\bar{y}_{jk} = 24,85001$$

6. Menghitung *sum of square* due to factor

- a. Nilai *sum of square* due to factor B

$$SS_B = n_{B1} * \overline{B1}^2 + n_{B2} * \overline{B2}^2 + n_{B3} * \overline{B3}^2 - SS_m$$

$$SS_B = (3 * 25,29151^2) + (3 * 25,02034^2) + (3 * 24,58628^2) \\ - 5609,73036$$

$$SS_B = 0,759283$$

- b. Nilai *sum of square* due to factor C

$$SS_C = n_{C1} * \overline{C1}^2 + n_{C2} * \overline{C2}^2 + n_{C3} * \overline{C3}^2 - SS_m$$

$$SS_C = (3 * 24,79610^2) + (3 * 25,25202^2) + (3 * 24,85001^2) \\ - 5609,73036$$

$$SS_C = 0,37238$$

8. Menghitung derajat kebebasan

- a. Nilai derajat kebebasan untuk faktor B

$$DF_B = \text{jumlah level} - 1$$

$$DF_B = 3 - 1$$

$$DF_B = 2$$

- b. Nilai derajat kebebasan untuk faktor C

$$DF_C = \text{jumlah level} - 1$$

$$DF_C = 3 - 1$$

$$DF_C = 2$$

9. Menghitung nilai *mean sum of square*

- a. Nilai *mean sum of square* untuk faktor B

$$MS_B = \frac{SS_B}{DF_B}$$

$$MS_B = \frac{0,759283}{2}$$

$$MS_B = 0,37964$$

- b. Nilai *mean sum of square* untuk faktor C

$$MS_C = \frac{SS_C}{DF_C}$$

$$MS_C = \frac{0,37238}{2}$$

$$MS_C = 0,18619$$

10. Menghitung nilai *F ratio*

- a. Nilai *F ratio* untuk faktor B

$$F_B = \frac{MS_B}{MS_e}$$

$$F_B = \frac{0,37964}{0,01054}$$

$$F_B = 36,01546$$

- b. Nilai *F ratio* untuk faktor C

$$F_C = \frac{MS_C}{MS_e}$$

$$F_C = \frac{0,18619}{0,01054}$$

$$F_C = 17,66338$$

11. Menghitung nilai *pure sum of square*

- a. Nilai *pure sum of square* untuk faktor C

$$SS'_B = SS_B - (DF_B * M_e)$$

$$SS'_B = 0,75928 - (2 * 0,05375)$$

$$SS'_B = 0,7382$$

- b. Nilai *pure sum of square* untuk faktor C

$$SS'_C = SS_C - (DF_C * M_e)$$

$$SS'_C = 0,37238 - (2 * 0,05375)$$

$$SS'_C = 0,3513$$

12. Menghitung nilai *percent contribution*

- a. Nilai *percent contribution* untuk faktor B

$$\rho B = \frac{SS'_B}{SS_t}$$

$$\rho B = \frac{0,7382}{6,6310} * 100\%$$

$$\rho B = 45,4965 \%$$

- b. Nilai *percent contribution* untuk faktor C

$$\rho C = \frac{SS'_C}{SS_t}$$

$$\rho C = \frac{0,3513}{6,6310} * 100\%$$

$$\rho C = 21,651 \%$$

Hasil perhitungan dengan software @ Minitab

1. Analisis Varian untuk nilai *mean*

Response Table for Means

	Komposisi	Tekanan	Temperatur
Level	%wtSn	Kompaksi	Sintering
1	18.43	18.50	17.47
2	17.51	17.91	18.41
3	17.51	17.04	17.57
Delta	0.93	1.46	0.94
Rank	3	1	2

Analysis of Variance for Mean FF, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Komposisi %wtSn	2	1.7084	1.7084	0.8542	15.89	0.059
Tekanan Kompaksi	2	3.2239	3.2239	1.6119	29.99	0.032
Temperatur Sintering	2	1.5912	1.5912	0.7956	14.80	0.063
Error	2	0.1075	0.1075	0.0537		
Total	8	6.6310				

S = 0.231837 R-Sq = 98.38% R-Sq(adj) = 93.52%

2. Analisis Varian untuk nilai SNR

Response Table for Signal to Noise Ratios
Larger is better

	Komposisi	Tekanan	Temperatur
Level	%wtSn	Kompaksi	Sintering
1	25.30	25.34	24.83
2	24.85	25.05	25.29
3	24.86	24.63	24.90
Delta	0.45	0.71	0.46
Rank	3	1	2

Analysis of Variance for SNRA1, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Komposisi %wtSn	2	0.40126	0.40126	0.20063	17.70	0.053
Tekanan Kompaksi	2	0.77289	0.77289	0.38644	34.09	0.029
Temperatur Sintering	2	0.36712	0.36712	0.18356	16.19	0.058
Error	2	0.02268	0.02268	0.01134		
Total	8	1.56394				

S = 0.106478 R-Sq = 98.55% R-Sq(adj) = 94.20%

3. Analisis Varian untuk nilai mean data *Neural Network*

Analysis of Variance for C4, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C1	2	3.2511	3.2511	1.6256	37.15	0.000
C2	2	5.0629	5.0629	2.5315	57.85	0.000
C3	2	0.0816	0.0816	0.0408	0.93	0.423
Error	11	0.4813	0.4813	0.0438		
Total	17	8.8770				

S = 0.209186 R-Sq = 94.58% R-Sq(adj) = 91.62%

Halaman ini sengaja dikosongkan

Ucapan Terima Kasih

- Allah Subhanahu Wata'ala, atas agama Rahmat-Nya sehingga saya dapat mendapat hidayah untuk tetap tegak menjadi hamba-Nya dan semoga saya selalu dipilih agar mudah mengamalkan agama-Nya yang sempurna.
- Ayah, Ibu, dan keluarga atas doa, dukungan, dan pengertian yang telah diberikan selama ini.
- Ibu Widyastuti S.Si, M.Si dan Bapak Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberi bimbingan dan motivasi pada saya.
- Bapak Denny Lesmana, Bapak Didik serta tim penguji Balistik di PT. Pindad Turen Malang
- Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
- Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
- Mas Ridha Widhiyanto selaku staf Laboratorium Fisika Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
- Teman-Teman Laboratorium Fisika Material dan teman-teman angkatan 2013 Jurusan Teknik Material dan Metalurg yang telah memberikan dukungan moril kepada penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
- Bapak Kanan selaku operator dalam pengujian Kompresi
- Mbak Iis selaku operator dalam pengujian SEM
- Bapak siwie pemilik bengkel Sidotopo beserta karyawan
- Bapak Teguh pemilik bengkel Plampitan beserta karyawan
- Bapak Kanan laboran Metalurgi
- Tim Riset peluru Frangible 2016-2017, Deshinta Ikasari, Mas Winarto, Jonas Martua, M. Fiqhi dan Habib yang setia membantu dalam proses pengerjaan TA
- Teman seperjuangan Tugas Akhir laboratorium Fisika Material Nurul Lailatul, Indra Bayu, I Dewa Nyoman, Ilham Ramadhan, Amelthia Rahel.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Mia Kristina Damayanti, lahir di kota Nganjuk pada tanggal 10 Oktober 1994. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara pasangan Wakid dan Sumiyati. Penulis mengawali jenjang pendidikan di SDN 2 Begadung, kemudian dilanjutkan ke SMP Negeri 4 Nganjuk, SMA Negeri 2 Nganjuk, hingga saat ini sedang menempuh pendidikan S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama masa kuliah ini, penulis sempat aktif di beberapa kegiatan dan organisasi kampus antara lain sebagai Staff Dept. Keilmiahan HMMT FTI ITS 2014/2015, Kakak Pendamping Institut Bidang Keilmiahan 2014/2015, Sekertaris Dept. Keilmiahan HMMT FTI ITS 2015/2016, Kepala Putri Dept. Humas LDJ Ash Habul Kahfi, serta pernah menjadi Asisten Laboratorium Fisika Material dan Grader Laboratorium Metalurgi. Untuk bidang penalaran, penulis sempat meloloskan 3 judul penelitian dalam PKM pada tahun pendanaan 2015. Pernah meraih juara tiga dalam Paper Competition SNBB IV 2016 ITB, dan finalis di NACE 2015 UI, Agropicco 2016 UNHAS, Confest 2015 Univ. Bangka Belitung, Parade Tambang 2016 UNSRI, Fornano 2016 UNSRI. Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Timah (Persero). Penulis menutup kuliah di kampus dengan Tugas Akhir berjudul **“Desain Parameter Eksperimen Untuk Optimasi Nilai *Frangibility Factor* Material Komposit Dengan Metode Taguchi Dan *Neural Network*”**.

Email : mia94kristina@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan